



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Marcus Felipe Mourão Pereira

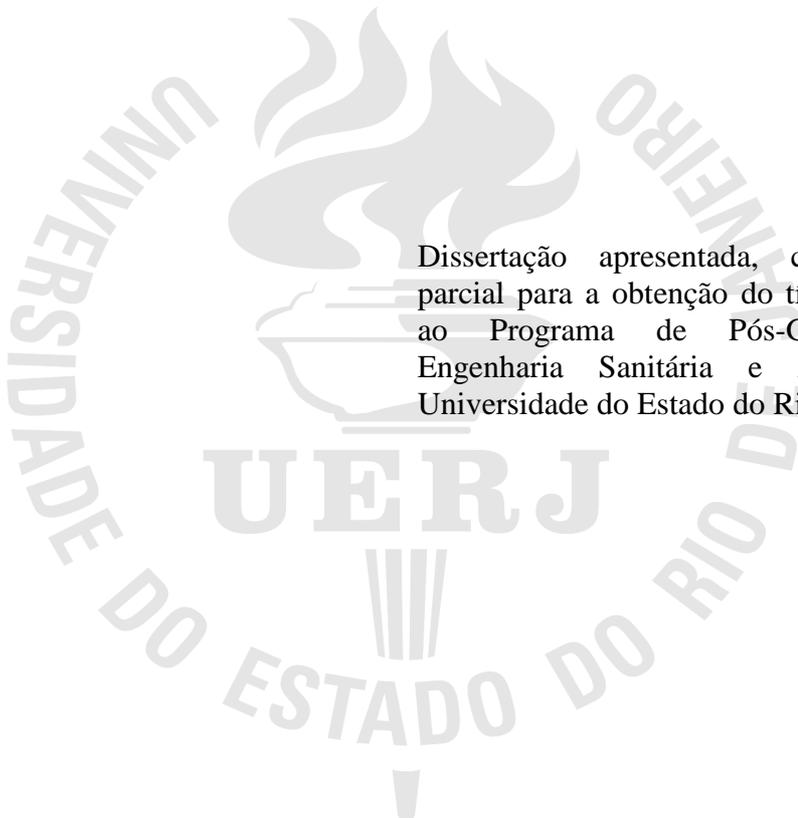
**Avaliação da configuração espacial das bacias aéreas da região
metropolitana do Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro

2012

Marcus Felipe Mourão Pereira

**Avaliação da configuração espacial das bacias aéreas da região
metropolitana do Rio de Janeiro**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Monteiro Martins

Rio de Janeiro

2012

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

P436 Pereira, Marcus Felipe Mourão.
Avaliação da configuração espacial das bacias aéreas da região metropolitana do Rio de Janeiro / Marcus Felipe Mourão Pereira. - 2012.
99f.

Orientador: Eduardo Monteiro Martins.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental. 2. Ar – Controle de qualidade – Dissertação. I. Martins, Eduardo Monteiro. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 502.175

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Marcus Felipe Mourão Pereira

**Avaliação da configuração espacial das bacias aéreas da região
metropolitana do Rio de Janeiro**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovado em 12 de março de 2012.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Monteiro Martins (Orientador)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Gilberto Pessanha Ribeiro
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Júlio Domingos Nunes Fortes
Faculdade de Engenharia - UERJ

Dr. Vinicius de Oliveira
Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro - SMAC

Rio de Janeiro

2012

DEDICATÓRIA

A minha mãe pelo apoio sempre.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Angela e Ronaldo, que começaram essa história no ano de 1979.

Aos meus irmãos Paulo, Márcia e Mário, que sempre estiveram ao meu lado durante essa caminhada.

A Rachel Guerra por me incentivar e compreender minha ausência durante a fase de conclusão do trabalho.

Ao professor Eduardo Martins, pela orientação, pela “fiscalização” via internet, pelos puxões de orelha e por acreditar que eu seria capaz de realizar esse projeto.

Ao professor Gilberto Pessanha, pela atenção, motivação e incentivo durante o desenvolvimento desse projeto.

Ao professor Júlio Fortes, por suas solicitações de mapas e imagens, por sua dedicação e pelo incentivo.

Ao corpo docente do departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, que conseguiu transmitir o conhecimento que servirá para toda a vida.

Aos todos os colegas de mestrado com quem pude trocar experiências em sala de aula e que contribuíram para o desenvolvimento do trabalho.

A todos meus amigos, que não estiveram presentes em sala de aula, mas fora dela desempenharam um papel de grande importância para que eu não desanimasse em momento algum.

Aos meus companheiros de trabalho que me apoiaram e me incentivaram, e na reta final deste projeto trabalharam por mim permitindo que eu me dedicasse aos estudos.

Aos integrantes da banca por criticarem o trabalho me ajudando a concluí-lo e permitindo uma maior experiência na execução de trabalhos semelhantes no futuro.

“Seja a mudança que você quer ver no mundo”.

Dalai Lama

RESUMO

PEREIRA, Marcus Felipe Mourão. **Avaliação da configuração espacial das bacias aéreas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2012. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

O dimensionamento de uma rede de monitoramento e controle da qualidade do ar requer o conhecimento da área onde os poluentes atmosféricos, emitidos por fontes fixas e móveis, tendem a se concentrar e os seus fenômenos de dispersão. A definição das áreas de monitoramento da poluição atmosférica na Região Metropolitana do Rio de Janeiro é um tema discutido desde o início dos anos 80 quando foram estabelecidas as bacias aéreas a partir de cartas topográficas. Este projeto consiste em pesquisa aplicada ao estabelecimento da configuração espacial e mapeamento das bacias aéreas a partir de dados digitais. Tal esforço é justificado em função do alcance dos beneficiados diretamente e à sociedade em geral, a partir do conhecimento das condições da qualidade do ar e seu comportamento ao longo do tempo. O estudo realizado se concentra na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, com base em dados necessários para a avaliação da dinâmica das massas de ar na área de estudo e suas características para definição das novas bacias aéreas com suporte de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Apoiado nos dados cartográficos digitais e nos dados cadastrais das estações de monitoramento, foi projetado e implementado um SIG, em atendimento aos requisitos de mapeamento digital das bacias aéreas, da distribuição espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar, das principais fontes de emissão de poluentes e das principais vias de circulação veicular, onde foram identificadas e mapeadas regiões com características semelhantes para diversos cenários com uso potencial do SIG. Foi criado um banco de dados georeferenciado, previamente modelado oferecendo consultas espaciais destinadas às necessidades de gestão ambiental. Com a utilização do SIG, foram identificadas áreas com deficiência no monitoramento, áreas críticas de poluição atmosférica e propostas as novas bacias aéreas delimitadas a partir dos dados digitais. O SIG se mostrou uma ferramenta eficiente para a gestão ambiental da qualidade do ar na RMRJ, pois permitiu em ambiente de escritório a representação dos elementos necessários para a avaliação da configuração espacial das bacias aéreas e proporcionou uma visualização dinâmica da distribuição espacial das estações de monitoramento nas bacias aéreas propostas.

Palavras-chave: Bacias Aéreas, Qualidade do ar, Sistema de Informação Geográfica, Poluição atmosférica, Gestão ambiental.

ABSTRACT

The dimensioning of an air monitoring and control network requires the knowledge of the area where atmospheric pollutants, released by stationary and mobile sources, tend to concentrate, as well as understanding their dispersion phenomena. The areas of atmospheric pollution monitoring in the metropolitan region of Rio de Janeiro are being discussed since the early eighties when the air basins limits were established based in topographic maps. This project consists on applied research to the establishment of spacial configuration and mapping the air basins in the metropolitan region of Rio de Janeiro with digital data. This effort is justified considering its benefits for the society in general, the increased knowledge of air quality conditions and its behavior over time. The study is concentrated in the metropolitan region of Rio de Janeiro based in the necessary data for the evaluation of the air masses dynamic in the study area and their characteristics to define the new air basins with support of geographic information systems. Based in cartographic digital data a GIS was projected to comply with digital mapping requirements of the air basins, air quality monitoring stations, the pollutants sources and the main traffic routes. Regions with same characteristics were identified and mapped for various scenarios using GIS. A georeferenced database, previously modeled, was created to allow spatial queries of environmental management needs. Using the GIS, inefficient monitoring areas and critical atmospheric pollution areas were identified and new air basins created from digital data were proposed. The GIS showed to be an interesting and efficient tool for environmental management of air quality in the metropolitan region of Rio de Janeiro, with GIS use it was possible to represent all the necessary elements to evaluate the spatial configuration of the air basins and it was possible to visualize the monitoring stations spatial distribution in the air basins proposed.

Keywords: Air Basins, Air Quality, Geographic Information System, Air Pollution, Environmental Management.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1: BACIAS AÉREAS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (FEEMA, 2008)**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.5**
- FIGURA 2: EFEITO PROVOCADO PELA INVERSÃO TÉRMICA – FONTE:
<HTTP://AMBIENTE.HSW.UOL.COM.BR/INVERSAO-TERMICA.HTM>**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.3**
- FIGURA 3: INVERSÃO TÉRMICA E FORMAÇÃO DE “SMOG” FOTOQUÍMICO – FONTE: PEREIRA, M.F.M, 2012**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.3**
- FIGURA 4: RADIOSSONDA – FONTE: <HTTP://BR.VAISALA.COM/BR>..... **ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.4**
- FIGURA 5: TIPOS DE DADOS ESPACIAIS ORGANIZADOS EM PLANOS DE INFORMAÇÃO - FONTE ADAPTADA: <HTTP://WWW.FPA.NIFC.GOV>**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.8**
- FIGURA 7: IMAGEM LANDSAT – ANO 2006..... 60
- FIGURA 6: IMAGEM LANDSAT – ANO 2000..... 60
- FIGURA 8: IMAGEM LANDSAT – ANO 2010.....**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.1**
- FIGURA 9: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS MUNICÍPIOS DA RMRJ **ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.2**
- FIGURA 10: REPRESENTAÇÃO VETORIAL DO RELEVO ATRAVÉS DAS CURVAS DE NÍVEL**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.3**
- FIGURA 11: CURVAS DE NÍVEL DAS ALTITUDES DE 100, 200 E 300 METROS SEPARADAS**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.4**
- FIGURA 12: EIXOS DE VIAS DE TRANSPORTE**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.4**
- FIGURA 13: PRINCIPAIS VIAS FLUXO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES..... **ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.5**
- FIGURA 14: GRÁFICOS DE INTENSIDADE E DIREÇÃO DOS VENTOS NO AEROPORTO DO GALEÃO**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.6**
- FIGURA 15: GRÁFICOS DE INTENSIDADE E DIREÇÃO DOS VENTOS NO AEROPORTO SANTOS DUMONT**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.7**
- FIGURA 16: GRÁFICOS DE INTENSIDADE E DIREÇÃO DOS VENTOS NO AEROPORTO DE JACAREPAGUÁ**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.7**
- FIGURA 17: LOCALIZAÇÃO DAS TRANSFORMAÇÕES DO ESPAÇO GEOGRÁFICO NA IMAGEM LANDSAT DO ANO DE 2000**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.1**

FIGURA 18: LOCALIZAÇÃO DAS TRANSFORMAÇÕES DO ESPAÇO GEOGRÁFICO NA IMAGEM LANDSAT DO ANO DE 2010	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.1
FIGURA 19: MODIFICAÇÕES DO ESPAÇO GEOGRÁFICO POR OBRAS DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.2
FIGURA 20: NOVA CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DAS BACIAS AÉREAS PARA A ALTITUDE DE 100 METROS.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.3
FIGURA 21: LOCALIZAÇÃO DAS VIAS PRINCIPAIS DE TRÂNSITO DA BACIA AÉREA I	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.4
FIGURA 22: PRINCIPAIS VIAS DE TRÂNSITO DA BACIA AÉREA II	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.4
FIGURA 23: PRINCIPAIS VIAS DE TRÂNSITO DA BACIA AÉREA III	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.5
FIGURA 24: LOCALIZAÇÃO DA BR-101 E DO COMPLEXO PETROQUÍMICO NA BACIA AÉREA IV	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.6
FIGURA 25: BACIA AÉREA DA ZONA SUL E VIAS DE TRÂNSITO ENTRE AS ZONAS OESTE, ZONA SUL E CENTRO DA CIDADE	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.7
FIGURA 26: POLÍGONO DA BACIA AÉREA DE NITERÓI E ÁREA URBANA DA REGIÃO OCEÂNICA	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.7
FIGURA 27: POLÍGONO DA BACIA AÉREA DE MARICÁ	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.8
FIGURA 28: COMPARAÇÃO ENTRE OS POLÍGONOS DAS BACIAS AÉREAS GERADAS A PARTIR DA ALTITUDE DE 100 METROS.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.8
FIGURA 29: CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DAS BACIAS AÉREAS PARA A ALTITUDE DE 200 METROS	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.9
FIGURA 30: CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DAS BACIAS AÉREAS PARA A ALTITUDE DE 300 METROS	80
FIGURA 31: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DA RMRJ.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.1
FIGURA 32: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICAS NAS BACIAS AÉREAS DE 100 METROS DE ALTITUDE	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.2
FIGURA 33: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES MANUAIS DE MONITORAMENTO NAS BACIAS AÉREAS DE 100 METROS DE ALTITUDE	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.3
FIGURA 34: VISUALIZAÇÃO DOS RAIOS DE ABRANGÊNCIA DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.4

FIGURA 35: IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS NÃO ALCANÇADAS PELA REDE DE MONITORAMENTO	
.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.4
FIGURA 36: IDENTIFICAÇÃO DE SOBREPOSIÇÃO DAS ÁREAS DE ABRANGÊNCIA DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.5
FIGURA 37: IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS CRÍTICAS DA BACIA AÉREA I...	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.6
FIGURA 38: IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS CRÍTICAS DA BACIA AÉREA II...	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.6
FIGURA 39: IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS CRÍTICAS DA BACIA AÉREA III .	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.7
FIGURA 40: IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS CRÍTICAS DA BACIA AÉREA IV .	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.7
FIGURA 41: IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA EXPANSÃO DA REDE DE MONITORAMENTO AO LONGO DA AV. BRASIL.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.8
FIGURA 42: NOVAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DA PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO INSTALADAS AO LONGO DA AV. BRASIL.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.9
FIGURA 43: IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA EXPANSÃO DA REDE DE MONITORAMENTO AO LONGO DA LINHA AMARELA	90
FIGURA 44: IDENTIFICAÇÃO DE ÁREA PARA EXPANSÃO DA REDE DE MONITORAMENTO NA BACIA AÉREA DA ZONA SUL	!
FIGURA 45: IDENTIFICAÇÃO DE ÁREA PARA EXPANSÃO DA REDE DE MONITORAMENTO NA BACIA AÉREA DE NITERÓI	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.1
FIGURA 46: IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA EXPANSÃO DA REDE DE MONITORAMENTO NA BACIA AÉREA IV	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.2

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1: CETESB - RELATÓRIO DE QUALIDADE DO AR NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO (RMSP) E EM CUBATÃO, 1988.....**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.1**
- TABELA 2: PERCENTUAIS DE CONTRIBUIÇÃO E PRINCIPAIS VIAS. (FEEMA, 2004). **ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.2**
- TABELA 3: EFEITO DOS POLUENTES À SAÚDE E SUAS PRINCIPAIS FONTES – FONTE: CAVALCANTI, 2003.....**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.4**
- TABELA 4: POLUENTES MONITORADOS, TEMPO DE AMOSTRAGEM, PADRÕES DE QUALIDADE DO AR E MÉTODOS DE MEDIÇÃO.....**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.8**
- TABELA 5: ÍNDICES DE QUALIDADE DO AR – FONTE: [HTTP://WWW.CETESB.SP.GOV.BR/](http://www.cetesb.sp.gov.br/)..... **ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.3**
- TABELA 6: RISCOS ASSOCIADOS À QUALIDADE DO AR – FONTE: [HTTP://WWW.CETESB.SP.GOV.BR/](http://www.cetesb.sp.gov.br/).....**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.4**
- TABELA 7: DADOS CADASTRAIS DAS ESTAÇÕES**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.1**
- TABELA 8: DADOS DAS SONDAGENS ATMOSFÉRICAS DO AEROPORTO DO GALEÃO-RJ, FONTE: [HTTP://WEATHER.UWYO.EDU/UPPERAIR/SOUNDING.HTML](http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html). **ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.8**
- TABELA 9: INVERSÕES TÉRMICAS POR FAIXAS DE ALTITUDE**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.9**
- TABELA 10: INVERSÕES TÉRMICAS POR ESTAÇÕES DO ANO .**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.9**
- TABELA 11: COMPARAÇÃO DAS ÁREAS DAS BACIAS NOVAS E ANTIGAS PARA A ALTITUDE DE 100 METROS**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.9**
- TABELA 12: QUANTIDADE DE ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO EM CADA BACIA AÉREA DE 100 METROS DE ALTITUDE**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.3**

LISTA DE SIGLAS

RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
SIG	Sistema de Informação Geográfica
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
SMAC	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EPA	Environmental Protection Agency
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
PRONAR	Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PTS	Partículas Totais em Suspensão
PI	Partículas Inaláveis
MP	Material Particulado
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
SO ₂	Dióxido de Enxofre
IQAr	Índice de Qualidade do Ar
GNV	Gás Natural Veicular
UV	Radiação Ultravioleta
ESRI	Environmental Systems Research Institute
CSA	Companhia Siderúrgica do Atlântico
COMPERJ	Complexo Petroquímico do Estado do Rio de Janeiro
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
DETRAN	Departamento Estadual de Transito
OMS	Organização Mundial de Saúde
WHO	World Health Organization
BAAQMD	Bay Area Air Quality Management District
SCAQMD	South Coast Air Quality Management District
CIRS	Cumulative Impacts Reduction Strategy
LAQM	Local Air Quality Management

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.4
1	REFERENCIAL TEÓRICO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.7
1.1.	EMISSÕES ATMOSFÉRICAS E POLUIÇÃO DO AR ...	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.7
1.1.1.	<i>Poluição atmosférica.....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.7
1.1.2.	<i>Histórico e eventos críticos.....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.5
1.2.	LEGISLAÇÃO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.7
1.3.	ÍNDICES DE QUALIDADE DO AR	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.3
1.4.	PRINCIPAIS POLUENTES	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.4
1.4.1.	<i>Material Particulado (MP)</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.4
1.4.2.	<i>Ozônio (O₃).....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.6
1.4.3.	<i>Dióxido de Enxofre (SO₂).....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.8
1.4.4.	<i>Monóxido de Carbono (CO).....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.9
1.4.5.	<i>Óxidos de Nitrogênio (NO_x).....</i>	Erro! Indicador não definido.9
1.5.	FÍSICA DA ATMOSFERA	40
1.5.1.	<i>Ventos</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.1
1.5.2.	<i>Inversão térmica.....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.2
1.5.3.	<i>Ilhas de calor.....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.4
1.6.	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG).....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.5
1.6.1.	<i>Componentes de um SIG</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.7
1.6.2.	<i>Estrutura Geral de um SIG</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.7
1.6.3.	<i>ArcGIS.....</i>	50
1.7.	REDE DE MONITORAMENTO.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.1
1.7.1.	<i>ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.1
1.8.	GESTÃO DA QUALIDADE DO AR.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.2
1.8.1.	<i>Gestão da qualidade do ar no Estado de São Paulo.....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.2
1.8.2.	<i>Gestão da qualidade do ar na Califórnia</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.4
1.8.3.	<i>Gestão da qualidade do ar no Reino Unido.....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.6
2	METODOLOGIA, DADOS OBTIDOS E RESULTADOS.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.8
2.1.	IMPLEMENTAÇÃO DO SIG	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.9
2.1.1.	<i>Imagens de satélite</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.9
2.1.2.	<i>Dados cadastrais das estações.....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.1
2.1.3.	<i>Bases cartográficas.....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.2
2.1.4.	<i>Vetorização das bacias aéreas.....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.5
2.1.5.	<i>Velocidade e direção dos ventos</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.6
2.1.6.	<i>Inversões térmicas – Aeroporto do Galeão (altitude da camada de mistura)....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.8
2.2.	ANÁLISES ESPACIAIS.....	70
2.2.1.	<i>Transformações do espaço geográfico.....</i>	70
2.2.2.	<i>Bacias aéreas</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.3
2.2.3.	<i>Rede de monitoramento.....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.1
2.2.4.	<i>Banco de dados geográficos.....</i>	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.2
3	CONCLUSÕES	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.3
	REFERÊNCIAS	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.6

INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica vem sendo considerada um dos agentes de degradação ambiental do planeta. Segundo SIENFELD (2006) uma condição de ar poluído deve ser definida como uma situação onde substâncias que resultem de atividades antropogênicas estão presentes em concentração suficientemente elevada, acima dos níveis normais do ambiente para produzir efeitos indesejáveis aos humanos, animais, vegetação ou materiais. Esta definição pode incluir qualquer substância, nociva ou benigna; tendo estas, entretanto, implicações de efeitos indesejáveis.

Por analogia ao conceito de bacia hidrográfica, cunhou-se em português a expressão "bacia aérea" para designar áreas em que o relevo, as correntes eólicas e conseqüentemente a dispersão dos poluentes do ar determinam a extensão dos impactos diretos e indiretos das atividades humanas na qualidade do ar. Essas áreas, delimitadas pela topografia e os espaços aéreos verticais e horizontais, constituem uma bacia aérea. O conceito de bacia aérea vem sendo utilizado pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente¹ na gestão da qualidade do ar da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) e atualmente utiliza-se o termo sub-regiões para identificação desses espaços aéreos. (FEEMA, 2004)

No estado do Rio de Janeiro a qualidade do ar é monitorada desde 1967, quando foram instaladas as primeiras estações de monitoramento². Na década de 80 foram criadas as bacias aéreas do estado do Rio de Janeiro, como áreas delimitadas pela topografia com altitude de 100 metros e com a função de contribuir para a melhoria da gestão da qualidade do ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. No estabelecimento dos limites dessas sub-regiões foram utilizadas cartas topográficas e os atuais limites estão representados na Figura 1. (FEEMA, 2008)

¹ FEEMA – atual Instituto Estadual do Ambiente - INEA

² Relatório Anual de Qualidade do Ar, 2009

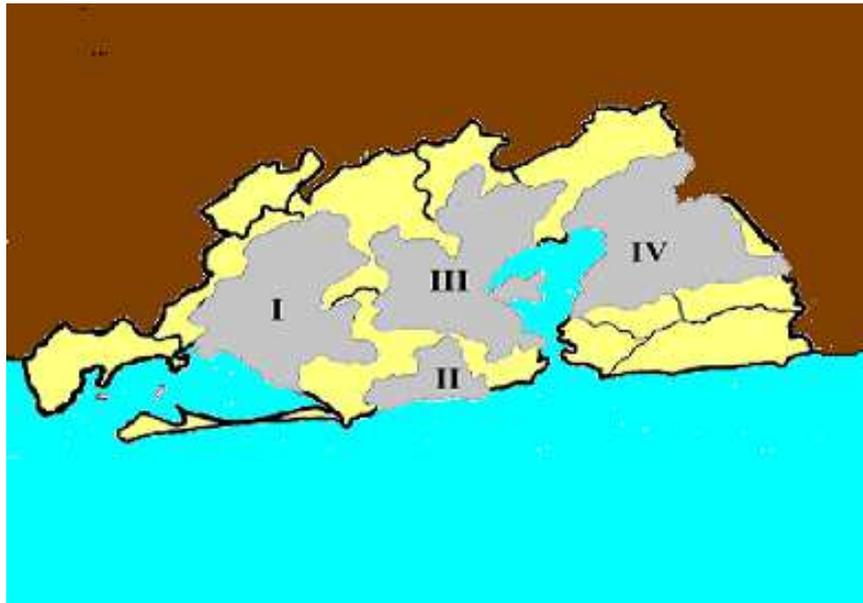


Figura 1: Bacias aéreas da região metropolitana do Rio de Janeiro (FEEMA, 2008)

No monitoramento da qualidade do ar com vistas a manutenção dos níveis no interior das bacias aéreas abaixo dos limites aceitos, garantindo que a concentração dos poluentes esteja dentro de níveis aceitáveis definidos na RESOLUÇÃO CONAMA nº 3 de 1990. Nos casos em que estes níveis sejam extrapolados que seja possível ter o indicativo da variação das concentrações para que medidas de controle sejam acionadas.

Nesse contexto, para que os dados de monitoramento gerem subsídios necessários à tomada de decisão, dando suporte aos gestores públicos e órgãos técnicos na aplicação de recursos em áreas prioritárias, é de suma importância que as áreas de monitoramento representem bem o espaço de confinamento dos poluentes, que a distribuição das estações de monitoramento permita a geração de dados representativos para todo o espaço geográfico e a classificação das áreas, de acordo com suas prioridades.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são sistemas computacionais que permitem o manuseio de dados geográficos através da entrada, gerenciamento e manipulação permitindo a análise dos dados. É essa característica que torna essa ferramenta útil para o monitoramento ambiental em apoio à gestão territorial. Com o aprimoramento crescente das técnicas de aquisição de dados geográficos e a utilização intensiva de imagens de satélites, para melhor caracterização do espaço geográfico, os SIG tornaram-se uma ferramenta poderosa para o tratamento de dados espaciais destinados ao monitoramento ambiental.

Este trabalho tem como objetivo geral definir a configuração espacial das bacias aéreas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) e adjacências.

São objetivos específicos do trabalho:

1 - Caracterizar a configuração espacial das bacias aéreas existentes na Região Metropolitana do Rio de Janeiro;

2 - Gerar uma ferramenta que permita consultas e atualizações para potencializar o monitoramento da poluição atmosférica no estado do Rio de Janeiro;

3 - Identificar as áreas críticas de poluição atmosférica;

4 - Avaliar a adequabilidade da rede atual de monitoramento em relação às áreas críticas.

5 - Estabelecer a configuração espacial das bacias aéreas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro para diversos cenários.

6 - Criar um banco de dados georeferenciados com todas as informações necessárias ao controle da poluição atmosférica.

A proposta da pesquisa é a utilização de um Sistema de Informação Geográfica para organização e visualização de diversos planos de informação simultaneamente permitindo a realização das análises espaciais.

A partir de dados cartográficos, dados cadastrais e dados meteorológicos, foram criados novos planos de informação que visualizados simultaneamente possibilitaram a realização dos objetivos propostos.

A delimitação das bacias aéreas, através da junção das curvas de nível da base cartográfica digital, foi realizada com a utilização do software ArcGIS e permitiu a caracterização das bacias aéreas a partir de dados digitais.

Com a organização de todas as informações necessárias ao controle da poluição atmosférica em um Sistema de Informação Geográfica foram identificadas as áreas críticas e foi avaliada a adequabilidade da atual rede de monitoramento da Região metropolitana do Rio de Janeiro.

O trabalho foi desenvolvido a partir da organização dos dados, preparação e criação de planos de informação relacionados com o tema proposto, geração dos novos cenários com a utilização do software ArcGIS e realização das análises espaciais propostas.

A pesquisa desenvolvida tem grande ligação com minha formação em engenharia cartográfica e minha experiência profissional desde a graduação onde trabalho com desenvolvimento e utilização de Sistemas de Informação Geográfica em diversas áreas de aplicação.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é feita a apresentação das bases conceituais utilizadas no desenvolvimento da pesquisa.

1.1 Emissões atmosféricas e poluição do ar

1.1.1 *Poluição atmosférica*

A poluição atmosférica, um dos problemas mais graves em termos de qualidade de vida, é o resultado de fatores geográficos, climáticos e antropogênicos. Com o crescimento dos grandes centros urbanos, com aumento da circulação de veículos automotores, as fontes de emissão de poluentes e a população estão cada vez mais ocupando os mesmos espaços concentrando-se ainda mais em torno dessas fontes. Atualmente a população sofre em consequência do grande número de veículos motorizados existentes nos grandes centros urbanos que de acordo com o inventário de fontes de emissão de poluentes da RMRJ do ano de 2004, são responsáveis por 77% das emissões de poluentes para a atmosfera (FEEMA, 2004).

No art. 3º da Lei nº. 6938, de 31 de agosto de 1981 a poluição é definida como: “a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente; prejudiquem a saúde, a segurança, e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.” (BRASIL, 1981).

De acordo com o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) que dispõe sobre os padrões de qualidade do ar:

São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral e entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Dessa forma o ar pode exercer uma influência decisiva na vida das populações, em particular para aqueles indivíduos mais vulneráveis com pré-disposição às doenças pulmonares e cardiorrespiratórias, tendo como exemplo as crianças e idosos.

A qualidade do ar nos grandes centros urbanos pode ser considerada uma ameaça para a saúde, o bem estar das pessoas e do meio ambiente em geral. De forma a garantir o desenvolvimento sócio-econômico e o crescimento urbano e industrial tem-se no aumento da demanda de energia, sendo a utilização de suas diversas formas uma das principais causas de danos ao meio ambiente onde a queima de combustíveis fósseis para geração de energia elétrica, transporte e indústria, está diretamente relacionada com o aumento da poluição atmosférica.

A RMRJ apresenta uma grande concentração de fontes de emissões que geram sérios problemas de poluição atmosférica. Das regiões metropolitanas do país, a do Rio de Janeiro é a mais densamente povoada, com aproximadamente 1.900 hab./km², congrega 19 municípios, ocupa 14,9% da área total do Estado e concentra, numa superfície de pouco menos de 6.500 km², uma população de onze milhões de pessoas, cerca de 80% de todo o Estado, das quais 60% vivem no município do Rio de Janeiro (FEEMA, 2004).

A RMRJ apresenta características físicas que potencializam os problemas relacionados à qualidade do ar onde a sua acidentada topografia e a presença do mar e da Baía de Guanabara produzem um fluxo de ar complexo e heterogêneo quanto à distribuição e dispersão dos poluentes. O clima tropical favorece os processos fotoquímicos e outras reações na atmosfera, gerando poluentes secundários. A região é a segunda maior concentração de veículos, de indústrias e de fontes de poluentes atmosféricos do país (FEEMA, 2004).

Levando-se em consideração as influências da topografia e da meteorologia, a RMRJ foi dividida em quatro sub-regiões, coincidentes com as bacias aéreas:

Sub-região I - compreende os distritos de Itaguaí e Coroa Grande, no município de Itaguaí; os municípios de Seropédica, Queimados e Japerí e as regiões administrativas de Santa Cruz e Campo Grande, no município do Rio de Janeiro.

Sub-região II - envolve as regiões administrativas de Jacarepaguá e Barra da Tijuca, no município do Rio de Janeiro.

Sub-região III - abrange os municípios de Nova Iguaçu, Belford Roxo e Mesquita; os distritos de Nilópolis e Olinda, no município de Nilópolis; os distritos de São João de Meriti, Coelho da Rocha e São Mateus, no município de São João de Meriti; os distritos de Duque de Caxias, Xerém, Campos Elíseos e Imbariê, no município de Duque de Caxias; os distritos de Guia de Pacobaíba, Inhomirim e Suruí, no município de Magé e as regiões administrativas de Portuária, Centro, Rio Comprido, Botafogo, São Cristóvão, Tijuca, Vila Isabel, Ramos, Penha, Méier, Engenho Novo, Irajá, Madureira, Bangu, Ilha do Governador, Anchieta e Santa Tereza, no município de Rio de Janeiro.

Sub-região IV - abrange parte do Município de Niterói, além dos municípios de São Gonçalo, Itaboraí, Magé e Tanguá.

As fontes móveis ou veiculares se tornaram um problema de grande magnitude, devido ao seu número, estado de conservação, qualidade do combustível utilizado, eficiência dos motores e mecanismos de filtragem dos gases emitidos pelos veículos.

No Município do Rio de Janeiro as restrições impostas pela topografia e a configuração radial das principais vias em direção ao centro da Cidade fazem com que haja uma grande concentração de viagens em poucos corredores com a quase totalidade deles convergindo para a área central. Os fluxos de veículos particulares somados aos de ônibus representam uma enorme solicitação ao sistema viário, nem sempre preparado para suportar adequadamente o tráfego, o que provoca congestionamentos em boa parte dos corredores (PCRJ, 2008).

De acordo com sua origem, os poluentes atmosféricos podem ser classificados em dois grupos: primários e secundários.

Poluentes primários são aqueles emitidos pelas fontes diretamente na atmosfera e incluem os particulados, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos.

Poluentes secundários são aqueles produzidos através de reações químicas entre poluentes primários e componentes atmosféricos. O ozônio é o mais importante entre os poluentes secundários.

De acordo com o seu estado físico os poluentes atmosféricos são classificados como material particulado e gases. São considerados gases quando se comportam como o ar e uma vez difundidos, não tendem mais a se depositar como partículas. São consideradas poluentes particulados as névoas de compostos inorgânicos e orgânicos sólidos que permanecem em suspensão, por um período mais longo quanto menor forem às partículas.

A avaliação da qualidade do ar está restrita a um grupo de poluentes que por sua maior frequência de ocorrência e pelos efeitos adversos que causam aos seres humanos e ao meio ambiente são monitorados na atmosfera. Estes poluentes são descritos a seguir:

O dióxido de enxofre (SO_2), que é proveniente da queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre, como óleo combustível, carvão mineral e óleo diesel, possui ação irritante nas vias respiratórias provocando tosse e até falta de ar, agrava os sintomas da asma e da bronquite crônica além de afetar outros órgãos sensoriais.

Além do dióxido de enxofre temos as partículas totais em suspensão (PTS) e as partículas inaláveis (PI), que são resultado da combustão incompleta originada nos processos de fabricação na indústria, em motores à combustão, em queimadas e poeiras diversas. Essas partículas quando inaladas pelos seres humanos interferem no sistema respiratório podendo afetar os pulmões e todo o organismo.

O monóxido de carbono (CO) é resultado da combustão incompleta de materiais que contenham carbono, como derivados de petróleo e carvão. Provoca dificuldades respiratórias, asfixia e é perigoso para aqueles que têm problemas cardíacos e pulmonares.

Os óxidos de nitrogênio (NO_x), originados na queima de combustíveis em altas temperaturas em veículos, aviões, fornos e incineradores, agem sobre o sistema respiratório, podendo causar irritações e, em altas concentrações, problemas respiratórios e até edema pulmonar.

O ozônio (O_3), que não é um poluente emitido diretamente pelas fontes, mas formado na atmosfera através da reação entre os compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio em presença de luz solar, provoca irritação nos olhos e nas vias respiratórias, agravando doenças como asma e bronquite, reduzindo as funções pulmonares.

Nas fontes naturais os poluentes são provenientes de fenômenos biológicos e geoquímicos. Destacam-se nessas fontes naturais o solo, o oceano que pelo aquecimento de sua superfície provoca a alteração das concentrações de diversos gases dissolvidos, a vegetação que emite compostos orgânicos, os vulcões pela emissão de poeiras e gases em elevadas altitudes e fontes naturais de líquidos e gases.

Nas fontes antropogênicas os poluentes são originados pelas atividades industriais e urbanas do próprio ser humano. As fontes antropogênicas são classificadas em fontes fixas ou estacionárias, que emitem poluentes pelos processos de combustão, processos industriais e por queimadas, e em fontes móveis que representam as emissões causadas pelos meios de transporte aéreo, marítimo e terrestre, em especial os veículos automotores que, pelo número e concentração nas áreas urbanas passam a constituir uma fonte de destaque frente a outras.

A Tabela 1 relaciona os poluentes gerados e suas respectivas fontes de formação.

Tabela 1: CETESB - Relatório de qualidade do ar na região metropolitana de São Paulo (RMSP) e em Cubatão, 1988.

FONTES		POLUENTES
FONTES ESTACIONÁRIAS	COMBUSTÃO	Material particulado. Dióxido de enxofre; Trióxido de enxofre, Monóxido de carbono, Hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio
	PROCESSO INDUSTRIAL	Mat. particulados (fumos, poeiras, névoas) Gases: - SO ₂ - SO ₃ - Hcl, Hidrocarbonetos
	QUEIMA RESÍDUOS SÓLIDOS	Material particulados Gases: SO ₂ - SO ₃ - NO _x - HCl
	OUTRAS	Hidrocarbonetos, Material particulado
FONTES MÓVEIS	Veículos: Gasolina, Diesel, Álcool, Aviões, Moto, Barcos, Trens	Material particulado, Monóxido Carbono, óxidos de Nitrogênio, Hidrocarbonetos. Aldeídos, Ácidos Orgânicos.
FONTES NATURAIS		Material particulados - poeiras Gases: SO ₂ - H ₂ S - CO - NO ₂ , Hidrocarbon
REAÇÕES QUÍMICAS NA ATMOSFERA. EX: Hidrocarbonetos + óxidos de nitrogênio (luz solar)		Poluentes secundários - O ₃ , Aldeídos, Ácidos orgânicos, Nitratos orgânicos, Aerosol fotoquímico, etc.

Os veículos, que se destacam nas cidades como as principais fontes poluidoras, são divididos em: leves de passageiro (movidos a gasolina, álcool ou gás natural veicular - GNV); leves comerciais (movidos a gás natural veicular ou óleo diesel); e veículos pesados (somente de óleo diesel).

Dentre as fontes fixas identificadas no último inventário realizado na RMRJ destacam-se as fontes relacionadas com os processos produtivos das indústrias, alimentícia, de asfalto, de cerâmica, de cimento, farmacêutica, de fumo, de geração de energia, lavanderias, metalúrgica, de refino de petróleo, siderúrgica, de papel, petroquímica, química, têxtil, tratamento de resíduos e de vidro.

Para as fontes móveis foram consideradas no inventário as principais vias de tráfego automotivo da Região Metropolitana, totalizando 187 vias, que foram devidamente segmentadas em razão dos respectivos traçados ou fluxo, alcançando o número de 260 fontes móveis. Foram relacionados os percentuais de contribuição das principais vias conforme Tabela 2.

Tabela 2: Percentuais de contribuição e principais vias. (FEEMA, 2004).

Nome da Via	MP ₁₀ (%)	SO ₂ (%)	NO _x (%)	CO (%)	HC (%)
Av. Brasil	22.9	30.0	33.4	25.3	25.2
Av. das Américas	5.7	9.6	7.9	12.2	12.3
Rod. Pres. Dutra	5.5	2.9	3.4	2.6	2.2
Linha Vermelha	3.1	3.4	3.8	2.8	2.8
Rod. Washington Luís	2.9	3.9	4.2	3.5	3.5
Ponte Rio - Niterói	1.9	3.2	2.7	3.9	3.9
Av. Ayrton Sena	*	2.2	1.8	2.9	2.9
Linha Amarela	*	1.9	1.9	2.5	2.5
Demais Vias	58.0	42.9	40.9	44.3	44.7

*Percentual incluído nas demais vias de tráfego

MP₁₀ – Material Particulado Inalável

SO₂ – Dióxido de Enxofre

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

CO- Monóxido de Carbono

HC- Hidrocarbonetos

O balanço obtido por meio do inventário de fontes realizado em Maio de 2004 pela FEEMA indica que as fontes móveis representam 77% dos poluentes emitidos para a atmosfera e que os outros 33% são de contribuição de fontes fixas. Neste percentual não foram consideradas as fontes naturais. Não foram consideradas as vias de circulação não pavimentadas que possuem uma contribuição significativa de material particulado, porém o número indica a grande importância da contribuição das fontes móveis representadas em sua maioria pelo tráfego de veículos nas vias da cidade.

Os poluentes lançados na atmosfera passam por constantes processos físicos e químicos de modificação, através da ação de fenômenos atmosféricos e pela ocorrência de inúmeras reações, onde se destacam as transformações químicas pelos processos gerais de oxidação.

As transformações químicas podem ser classificadas em fotoquímicas e térmicas. As reações fotoquímicas resultam da interação de fótons de energia com espécies capazes de absorvê-los, tendo como exemplo os aldeídos, dióxido de nitrogênio, ácido sulfúrico e o ozônio, originando produtos com radicais livres e, portanto muito reativos que tomarão parte nas reações químicas térmicas.

A foto dissociação que origina os radicais livres, depende diretamente da capacidade de absorção da energia solar, com comprimentos de onda entre 290 nm a 700 nm por parte

das moléculas participantes na formação de radicais livres tais como: oxigênio atômico, hidrogênio atômico, hidroxila e do radical peróxido (PARTER, 1978).

Na troposfera, as transformações químicas envolvem a oxidação de hidrocarbonetos, de monóxido de nitrogênio e dióxido de enxofre com a produção de produtos oxigenados como os aldeídos, dióxido de nitrogênio e o ácido sulfúrico. As espécies oxigenadas tornam-se assim os poluentes secundários formados a partir das emissões primárias de fontes naturais ou antropogênicas (STERN et al, 1984).

As transformações químicas também podem ser classificadas como homogêneas quando ocorrem em uma única fase ou heterogênea quando envolverem reações de fases gás-líquido e gás-sólido. Dessa forma as transformações químicas podem ocorrer na fase gasosa, formando produtos secundários como o NO_2 e o O_3 , e na fase líquida como a oxidação do SO_2 em gotas líquidas ou filmes aquosos e como conversões gás-partícula na qual o produto oxidado condensa para formar um aerossol (BRETSCHEIDER e KURFÜRST, 1987).

Todas as reações na atmosfera são fortemente influenciadas pela quantidade de partículas sólidas suspensas e por suas propriedades. Tais partículas influenciam na absorção da luz pela adsorção de gases afetando a intensidade das reações fotoquímicas em suas superfícies.

A atmosfera possui um dinamismo implacável às ações intensificadoras das atividades humanas, exigindo dessa forma uma atenção especial nas emissões de poluentes para que seus efeitos sejam minimizados.

A poluição atmosférica causa vários efeitos prejudiciais, diretos ou indiretos, sobre a saúde e o bem-estar dos seres humanos, sobre os animais e a vegetação, sobre os materiais, construções, solos e corpos d'água.

Os efeitos da poluição atmosférica têm a característica de modificar uma condição original causando prejuízos ou danos. Entre elas pode-se destacar as perdas econômicas pelo aumento da ocorrência de algumas doenças, diminuição da produção agrícola, aceleração da taxa de corrosão dos metais, diminuição do tempo de vida dos edifícios, construções e monumentos históricos (BRETSCHEIDER e KURFÜRST, 1987).

De maneira geral, os efeitos podem ser classificados como: agudos, de caráter temporário e reversível, em função do aumento da concentração de poluentes como, por exemplo, a irritação nos olhos e tosse; e crônicos, de caráter permanente e cumulativo com manifestações em longo prazo, podendo causar à saúde humana intoxicações gradativas provocando graves doenças respiratórias além de corrosão de estruturas e a degradação de materiais de construções e obras de arte (CAVALCANTI, 2003).

O impacto da poluição atmosférica sobre o bem-estar humano tem sido a principal motivação para o seu estudo e controle. A poluição atmosférica afeta principalmente os sistemas respiratórios, circulatórios e oftalmológicos, sendo o sistema respiratório a principal via de entrada dos poluentes, alguns dos quais podem alterar as funções dos pulmões (STERN et al., 1984).

Esses efeitos, suas fontes e os poluentes associados são descritos na Tabela 3:

Tabela 3: Efeito dos poluentes à saúde e suas principais fontes – Fonte: CAVALCANTI, 2003.

Poluente	Efeitos à Saúde Relatados	Outros Possíveis Efeitos	Principais Fontes
Material Particulado	Aumenta mortalidade geral, pode adsorver e carrear poluentes tóxicos para as partes profundas do aparelho respiratório e, na presença de SO ₂ , aumenta a incidência e a severidade de doenças respiratórias.	Reduz a visibilidade, suja materiais e construções	Processos industriais, veículos automotores, poeiras naturais, vulcões, incêndios florestais, queimadas, queima de carvão, etc.
Dióxido de Enxofre (SO₂)	Agrava sintomas de doenças cardíacas e pulmonares, broncostritor especialmente em combinação com outros poluentes, aumenta a incidência de doenças respiratórias agudas.	Tóxico para as plantas, estraga pinturas, erosão de estátuas e monumentos, corroi metais, danifica tecidos, diminui a visibilidade, forma chuva ácida	Queima de combustíveis em fontes fixas, veículos automotores, fundições, refinarias de petróleo, etc.
Monóxido de Carbono (CO)	Interfere no transporte de oxigênio pelo sangue, diminui reflexos, afeta a discriminação temporal, exposição a longo prazo é suspeita de agravar arteriosclerose e doenças vasculares.	Desconhecidos	Veículos automotores
Dióxido de Nitrogênio (NO₂)	Altas concentrações podem ser fatais; em concentrações baixas pode aumentar a suscetibilidade a infecções, pode irritar os pulmões, causar bronquite e pneumonia.	Tóxico para as plantas, causa redução no crescimento e na fertilidade das sementes quando presente em altas concentrações, causa coloração marrom na atmosfera, precursor da	Veículos automotores e queima de combustíveis em fontes estacionárias, termelétricas.

		chuva ácida, participa do smog fotoquímico formando O ₃ .	
Ozônio (O₃)	Irrita as mucosas do sistema respiratório causando tosse e prejuízo à função pulmonar, reduz a resistência a gripes e outras doenças como a pneumonia, pode agravar doenças do coração, asma, bronquites e enfisema.	Danifica materiais como a borracha e pintura, causa danos à agricultura e à vegetação em geral.	Formado na atmosfera por reações fotoquímicas pela presença de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos ou outros compostos orgânicos voláteis.

1.1.2 *Histórico e eventos críticos*

A poluição do ar não é problema novo e existem muitos indícios de que já na pré-história foi provocada por erupções vulcânicas, tempestades de poeiras e incêndios em florestas. Duas erupções vulcânicas, a do monte Krakatoa em 1883 e a do monte Katmai em 1902 produziram poeira e cinzas que permaneceram circulando no globo terrestre causando estranhas transformações na Terra (SIMON, 2003).

Quando acontece uma erupção vulcânica de grandes proporções é possível que ocorram mudanças como a queda de temperatura provocada pelo bloqueio dos raios solares pela poeira lançada, modificações no nascer e pôr do sol com aparecimento de cores incomuns e ocorrência de chuvas ácidas provocadas pela grande emissão de dióxido de enxofre para a atmosfera.

Ao longo dos últimos anos é crescente a preocupação da população acerca dos possíveis efeitos adversos à saúde causados pela exposição à poluição do ar, particularmente nos grandes centros urbanos. Esta preocupação, porém, não é um fato recente. Os efeitos nocivos da poluição do ar vêm sendo mais claramente vivenciados desde a primeira metade do século passado, durante episódios de alta concentração de poluentes como os observados no Vale Meuse, na Bélgica; em Donora, na Pensilvânia; e em Londres, na Inglaterra. (GOUVEIA, 2003)

Após a revolução industrial com a instalação das indústrias e consequente aumento na emissão de poluentes, com o crescimento dos centros urbanos e o aumento das emissões por fontes móveis, ocorreu a degradação da qualidade do ar. A consequência desse aumento nas emissões dos poluentes atmosféricos pode ser observada nos diferentes episódios de poluição do ar que ocorreram na Europa e nos Estados unidos no início do século XX.

Em dezembro de 1930, no **Vale do Meuse**, uma região da Bélgica, onde havia uma grande concentração de indústrias que utilizavam fornos de carvão, em um período de cinco dias sob condições climáticas desfavoráveis para a dispersão dos poluentes atmosféricos, aconteceu um grande aumento de doenças e mortes por patologias respiratórias. Estas últimas se situaram num patamar dez vezes maior em relação ao dos anos anteriores. (SARTOR et al., 1994)

Em janeiro de 1931, em **Manchester**, Inglaterra, durante nove dias de condições climáticas desfavoráveis, morreram 592 pessoas. Um número também muito superior ao da média histórica da cidade (MINISTRY OF HEALTH, 1954).

Em 1948, em **Donora**, EUA, durante os seis dias em uma pequena cidade com grande número de siderúrgicas e fábricas de produtos químicos, foram registradas vinte mortes devido a uma inversão térmica que produziu uma alta concentração de poluentes sobre a cidade. Também foram percebidos sintomas de doenças cardiorrespiratórias na metade da população local durante a ocorrência desse fenômeno (CIOCCO, 1961).

Em dezembro de 1952, em **Londres**, Inglaterra, ocorreu o mais grave e conhecido episódio de poluição atmosférica. Devido a uma forte frente fria durante cinco dias, inversões térmicas com camadas de mistura que atingiram aproximadamente 45 metros, aumento na queima de carvão de baixa qualidade e com alto teor de enxofre, foi produzida localmente uma densa névoa de material particulado e enxofre que provocou uma considerável redução de visibilidade. Este fenômeno ocasionou um aumento de aproximadamente quatro mil mortes, com relação à média de óbitos em períodos semelhantes, sendo a maioria delas em portadores de bronquite crônica, enfisema pulmonar e doença cardíaca. A partir deste evento e do grande número de mortes, se teve um grande impulso aos movimentos ambientais, levando a reflexão sobre a poluição do ar, novas regulamentações legais foram baixadas e normas restringindo a poluição do ar (MINISTRY OF HEALTH, 1954).

A repetição desse fenômeno em Londres, em menor grau, em 1956, levou à aprovação da Lei do Ar Puro. Segundo essa lei, o aquecimento das casas com o carvão ficou proibido, e as indústrias foram obrigadas a adotar medidas de controle da poluição do ar.

Recentemente episódios de erupções vulcânicas causaram grandes problemas na Europa e América do Sul e também são exemplos históricos de fontes naturais que causam aumento da poluição e geraram transtornos para a população.

1.2 Legislação

A prevenção e o controle da poluição atmosférica do Brasil se baseiam na resolução CONAMA n.º 05 de 15/06/1989, a qual instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR).

O PRONAR tem como objetivo limitar, em escala nacional, os níveis de emissão por tipologia de fonte e poluentes prioritários, reservando o uso de padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle.

A portaria normativa n.º 348 de 14/03/1990 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar e respectivos métodos de referência, ampliando o número de parâmetros estabelecidos anteriormente na portaria GM 0231 de 27/04/1976.

Posteriormente os padrões de qualidade do ar estabelecidos na portaria 348 de 14/03/1990 foram submetidos ao CONAMA e transformados na resolução n.º 03/1990 do mesmo órgão.

A Resolução n.º 03 do CONAMA (1990), considerando a necessidade de ampliar o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no País, complementa a resolução CONAMA n.º 05 de 15/06/1989 e estabelece os padrões primários e secundários para a avaliação da qualidade do ar e os métodos e períodos de amostragem e análise dos poluentes atmosféricos.

De acordo com a resolução CONAMA n.º 03 são padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população e são padrões secundários de qualidade do ar as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. (Art. 2º da resolução CONAMA n.º 03/1990).

A Tabela 4 apresenta um resumo do texto da resolução n.º 03/1990 onde são relacionados os poluentes a serem monitorados, os tempos de amostragem para cada poluente, os métodos de medição e seus padrões primários e secundários.

Tabela 4: Poluentes monitorados, tempo de amostragem, padrões de qualidade do ar e métodos de medição³

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO µg/m³	PADRÃO SECUNDÁRIO µg/m³	MÉTODO DE MEDIÇÃO
Partículas totais em suspensão	24 horas (1)	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA (2)	80	60	
Partículas inaláveis	24 horas (1)	150	150	Separação inercial/filtração
	MAA (3)	50	50	
Fumaça	24 horas (1)	150	100	Reflectância
	MAA (3)	60	40	
Dióxido de enxofre	24 horas (1)	365	100	Pararosanilina
	MAA (3)	80	40	
Dióxido de nitrogênio	1 hora (1)	320	190	Quimioluminescência
	MAA (3)	100	100	
Monóxido de carbono	1 hora (1)	40.000	40.000	Infravermelho não dispersivo
		35ppm	35ppm	
	8 horas (1)	10.000	10.000	
		9ppm	9ppm	
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quimioluminescência
(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano				
(2) Média Geométrica Anual				
(3) Média Aritimética Anual				

A resolução CONAMA n.º 03/1990 determina que o monitoramento da qualidade do ar seja uma atribuição dos estados e estabelece os níveis de qualidade do ar para elaboração do plano de emergência para episódios críticos de poluição, visando providências dos governos de estado e dos municípios, assim como de entidades privadas e comunidade geral, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde da população.

Segundo a resolução CONAMA n.º 03/1990 considera-se episódio crítico de poluição do ar a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos.

Ficam estabelecidos pela resolução os níveis de atenção, alerta e emergência, para a execução do plano de emergência para episódios críticos de poluição.

³ Retirado do texto da resolução n.º 03/1990 do CONAMA

O nível de atenção será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições abaixo:

Concentração de dióxido de enxofre (SO₂), média de 24 (vinte e quatro) horas, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;

Concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 375 (trezentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;

Produto, igual a 65×10^3 , entre a concentração de dióxido de enxofre (SO₂) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;

Concentração de monóxido de carbono (CO), média de 08 (oito) horas, de 17.000 (dezesete mil) microgramas por metro cúbico (15 ppm);

Concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora, de 400 (quatrocentos) microgramas por metro cúbico;

Concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e cinquenta) microgramas por metro cúbico;

Concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e cinquenta) microgramas por metro cúbico;

Concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂), média de 1 (uma) hora, de 1130 (um mil cento e trinta) microgramas por metro cúbico.

O nível de alerta será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições descritas a seguir:

Concentração de dióxido de enxofre (SO₂), média de 24 (vinte e quatro) horas, 1.600 (um mil e seiscentos) microgramas por metro cúbico;

Concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 625 (seiscentos e vinte e cinco) microgramas por metro cúbico;

Produto, igual a 261×10^3 , entre a concentração de dióxido de enxofre (SO₂) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;

Concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 34.000 (trinta e quatro mil) microgramas por metro cúbico (30 ppm);

Concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;

Concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 420 (quatrocentos e vinte) microgramas por metro cúbico;

Concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 420 (quatrocentos e vinte) microgramas por metro cúbico;

Concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂), média de 1 (uma) hora de 2.260 (dois mil, duzentos e sessenta) microgramas por metro cúbico.

O nível de emergência será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições descritas a seguir:

Concentração de dióxido de enxofre (SO₂); média de 24 (vinte e quatro) horas, de 2.100 (dois mil e cem) microgramas por metro cúbico;

Concentração de partículas totais em suspensão, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 875 (oitocentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;

Produto igual a 393 x 103, entre a concentração de dióxido de enxofre (SO₂) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;

Concentração de monóxido de carbono (CO), média de 8 (oito) horas, de 46.000 (quarenta e seis mil) microgramas por metro cúbico (40 ppm);

Concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora, de 1.000 (hum mil) microgramas por metro cúbico;

Concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 500 (quinhentos) microgramas por metro cúbico;

Concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 500 (quinhentos) microgramas por metro cúbico;

Concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂), média de 1 (uma) hora de 3.000 (três mil) microgramas por metro cúbico.

Fica determinado pela resolução CONAMA n.º 03/1990 que, durante a permanência dos níveis acima das referências estabelecidas, as fontes de poluição do ar ficam sujeitas às restrições previamente estabelecidas pelo órgão de controle ambiental e que cabe aos estados a indicação das autoridades responsáveis pela declaração dos diversos níveis.

Existem ainda as importantes resoluções com a finalidade de preservar a qualidade do ar em centros urbanos como a resolução CONAMA no. 18 de 1986, a resolução

CONAMA n.º. 08 de 1993 e a resolução CONAMA n.º. 382 de 2006 que ajudam a regulamentar o controle da poluição atmosférica no país.

A Resolução CONAMA n.º. 18 (1986) estabelece o Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores (PROCONVE) e é complementada pela Resolução CONAMA n.º 08 (1993) que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados.

Considerando que os veículos automotores dos ciclos Otto e Diesel são fontes relevantes de emissão de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, fuligem e aldeídos, de emissão evaporativa de combustível, que a emissão de poluentes por veículos automotores contribui para a contínua deterioração da qualidade do ar, especialmente nos centros urbanos e que a utilização de tecnologias adequadas, de uso comprovado, permite atender as necessidades de controle da poluição, bem como de economia de combustível, foi instituído, em caráter nacional, o programa de controle da poluição do ar por veículos automotores (Resolução CONAMA n.º 18, 1986).

Este programa tem como objetivos reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos padrões de qualidade do ar especialmente nos centros urbanos promovendo o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes. Além disso, foram criados os programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso promovendo dessa forma a conscientização da população com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores (Resolução CONAMA n.º 18, 1986).

De posse dos dados de inspeção desejam-se estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados e promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos, postos à disposição da frota nacional de veículos automotores, visando à redução de emissões poluidoras à atmosfera.

O PROCONVE, que tem por objetivo reduzir as emissões de poluentes de veículos novos, por meio da implantação progressiva de fases que, gradativamente, obrigam a indústria automobilística a reduzir as emissões nos veículos que serão colocados no mercado atualmente encontra-se em sua fase P-7. Nesta fase os limites de emissão estão regulamentados pela Resolução CONAMA n.º. 403, de 11 de novembro de 2008 em vigor a partir de 1º de Janeiro de 2012.

A resolução CONAMA n.º. 08 (1993), em complemento à Resolução CONAMA n.º 18 estabeleceu os limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a

veículos pesados novos, nacionais e importados válidos para as primeiras fases do PROCONVE.

A resolução CONAMA n.º 382, considerando os altos níveis de poluição atmosférica alcançados, principalmente nas regiões metropolitanas, seus reflexos negativos sobre a saúde, o meio ambiente, a economia e a crescente industrialização de várias regiões do país com o conseqüente aumento do nível de emissões atmosféricas, estabeleceu os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.

A poluição deve ser controlada na fonte, seja por meio de equipamentos de controle, seja utilizando processos menos poluidores, em razão do princípio de prevenção à poluição e de acordo com a resolução n.º 382 de 2006, os limites são fixados por poluente e para o seu estabelecimento são considerados os seguintes critérios mínimos:

I - o uso do limite de emissões é um dos instrumentos de controle ambiental, cuja aplicação deve ser associada a critérios de capacidade de suporte do meio ambiente, ou seja, ao grau de saturação da região onde se encontra o empreendimento;

II - o estabelecimento de limites de emissão deve ter como base tecnologias ambientalmente adequadas, abrangendo todas as fases, desde a concepção, instalação, operação e manutenção das unidades bem como o uso de matérias-primas e insumos;

III - adoção de tecnologias de controle de emissão de poluentes atmosféricos técnica e economicamente viáveis e acessíveis e já desenvolvidas em escala que permitam sua aplicação prática;

IV - possibilidade de diferenciação dos limites de emissão, em função do porte, localização e especificidades das fontes de emissão, bem como das características, carga e efeitos dos poluentes liberados; e

V - informações técnicas e mensurações de emissões efetuadas no País bem como o levantamento bibliográfico do que está sendo praticado no Brasil e no exterior em termos de fabricação e uso de equipamentos, assim como exigências dos órgãos ambientais licenciadores.

1.3 Índices de qualidade do ar

O índice de qualidade do ar é uma ferramenta matemática desenvolvida para simplificar o processo de divulgação da qualidade do ar. Esse índice é utilizado pela CETESB desde 1981, e foi criado usando como base uma longa experiência desenvolvida no Canadá e EUA.

Vários poluentes são monitorados e para cada poluente medido é calculado um índice. O valor do índice é dado pela equação: (KIELY, 1996)

$$\dot{Índice} = \dot{Índice}_{inicial} + \left(\frac{\dot{Índice}_{final} - \dot{Índice}_{inicial}}{Conc._{final} - Conc._{inicial}} \right) \times (Conc._{medida} - Conc._{inicial})$$

Onde:

$\dot{Índice}$ – índice de qualidade do ar desejado;

$Conc._{medida}$ – concentração medida;

$Conc._{inicial}$ – concentração inicial da faixa onde se encontra a concentração medida;

$Conc._{final}$ – concentração final da faixa onde se encontra a concentração medida;

$\dot{Índice}_{inicial}$ – valor do índice correspondente à $Conc._{inicial}$;

$\dot{Índice}_{final}$ – valor do índice correspondente à $Conc._{final}$.

O índice de qualidade do ar é obtido através de uma função linear segmentada, onde os pontos de inflexão são os padrões de qualidade do ar. Desta função, que relaciona a concentração do poluente com o valor índice, resulta um número adimensional, referido a uma escala com base em padrões de qualidade do ar.

Através do índice obtido o ar recebe uma qualificação, que é uma espécie de nota conforme Tabela 5:

Tabela 5: Índices de qualidade do ar – Fonte: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
Boa	0 - 50	0 - 50	0 - 80	0 - 4,5	0 - 100	0 - 80
Regular	51 - 100	50 - 150	80 - 160	4,5 - 9	100 - 320	80 - 365
Inadequada	101 - 199	150 - 250	160 - 200	9 - 15	320 - 1130	365 - 800
Má	200 - 299	250 - 420	200 - 800	15 - 30	1130 - 2260	800 - 1600
Péssima	>299	>420	>800	>30	>2260	>1600

Na divulgação dos resultados utiliza-se o índice mais elevado e a qualidade do ar de uma estação é determinada pelo pior caso, isto é, o poluente que apresenta o pior resultado classifica a qualidade do ar da estação. Esta qualificação do ar está associada com efeitos sobre a saúde e cada faixa de qualificação representa um risco para a população conforme Tabela 6:

Tabela 6: Riscos associados à qualidade do ar – Fonte: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>

Qualidade	Índice	Significado
Boa	0 - 50	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51 - 100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101 - 199	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200 - 299	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	>299	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

1.4 Principais poluentes

1.4.1 *Material Particulado (MP)*

O material particulado é uma mistura de partículas finas de sólidos e líquidos suspensas no ar e geralmente invisíveis a olho nu. Em algumas ocasiões o aglomerado dessas partículas finas forma uma neblina capaz de restringir a visibilidade. As partículas suspensas em uma massa de ar não são do mesmo tamanho e não apresentam mesma composição química. Sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão e o tamanho das partículas é expresso em relação ao seu tamanho aerodinâmico, definido como o diâmetro de uma esfera densa que tem a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão. (DOCKERY; POPE, 1994).

O diâmetro das partículas é sua propriedade mais relevante e qualitativamente as partículas individuais são classificadas como grossas ou finas, dependendo de seu diâmetro ser maior ou menor que $2,5\mu\text{m}$ (BAIRD, 2002).

O comportamento dessas partículas na atmosfera e a velocidade de deposição na superfície terrestre pode ser explicada segundo a Lei de Stokes, onde, a velocidade, em distância por segundo, na qual as partículas sedimentam, aumenta com o quadrado de seu diâmetro. Ou seja, uma partícula com a metade do diâmetro de outra se deposita quatro vezes mais lentamente e as partículas muito pequenas depositam-se tão lentamente que podem ficar suspensas no ar por tempo indeterminado (BAIRD, 2002).

Partículas grossas se originam principalmente da desintegração de grandes pedaços de material. Muitas partículas grandes presentes na atmosfera têm origem no solo ou nas rochas e suas composições são similares àsquelas das quais surgiram.

As partículas finas são formadas principalmente por reações químicas e pelo processo de coagulação de partículas menores que incluem as moléculas no estado de vapor. A queima incompleta de combustíveis à base de carbono, como carvão, petróleo, gasolina e óleo diesel, produzem partículas pequenas que são pequenos cristais de carbono e dessa forma uma das principais fontes de partículas atmosféricas a base de carbono, tanto finas como grossas, é a exaustão de veículos, principalmente os movidos a diesel.

Doenças respiratórias e cardíacas possuem relação com o aumento das concentrações de material particulado presente na atmosfera, o material particulado tem sido um problema de poluição do ar há centenas de anos e a principal evidencia que relaciona a deterioração da saúde humana à presença de particulados provém de estudos estatísticos que correlacionam as taxas de mortalidade em diferentes cidades com seus níveis de poluição por material particulado (DOCKERY et al, 1989 / BORJA, 1997).

A *Air Quality Standards*⁴ dos Estados Unidos em sua publicação em Outubro de 2006, determina um máximo de 24 horas de exposição para o nível PM_{10} de $150\mu\text{m}^3$. Em 1997 a EPA⁵ decidiu regulamentar os níveis de $\text{MP}_{2,5}$ para uma média anual não superior a $15\mu\text{m}^3$ e diária de $65\mu\text{m}^3$ em 2006 alterou os níveis diários para $35\mu\text{m}^3$ e manteve os valores em $15\mu\text{m}^3$ para média anual. (NAAQS, 2006).

A OMS, Organização Mundial de Saúde (WHO - World Health Organization), em sua publicação de 2005 determina um máximo de 24 horas de exposição para o nível PM_{10} de

⁴ National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), EPA.

⁵ Environmental Protection Agency - Agência de proteção ambiental federal norte-americana, que estabelece normas e padrões visando à proteção do meio ambiente e ao controle da poluição.

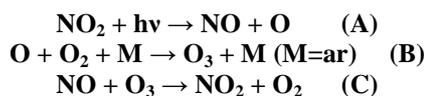
$50\mu\text{m}/\text{m}^3$ e uma média anual não superior a $20\mu\text{m}/\text{m}^3$ e determina um máximo de 24 horas de exposição para o nível $\text{PM}_{2,5}$ de $25\mu\text{m}/\text{m}^3$ e uma média anual não superior a $10\mu\text{m}/\text{m}^3$. (WHO, 2005).

1.4.2 Ozônio (O_3)

O ozônio (O_3) é formado na atmosfera através da reação entre os compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio em presença de luz solar, provoca irritação nos olhos e nas vias respiratórias, agravando doenças como asma e bronquite, reduzindo as funções pulmonares.

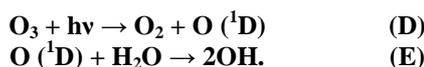
A formação do ozônio ocorre através de uma seqüência de reações tendo o radical hidroxila (OH) como principal condutor do processo durante o dia e o radical nitrato (NO_3) durante a noite.

O ozônio é formado fotoquimicamente através da fotólise do NO_2 que tem como fonte a rápida conversão do NO em NO_2 , o qual é emitido nos processos de queima.

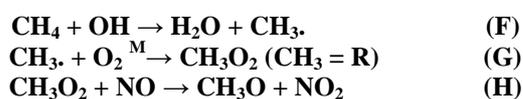


O O_3 , por sua vez reage rapidamente com NO e o ciclo de formação do ozônio ilustrado pelas reações A, B e C resultam no equilíbrio entre NO, NO_2 e O_3 com baixa formação de O_3 quando em ausência dos COVs.

Em presença de COVs, que tem como principais fontes de emissão a vegetação de florestas e os processos envolvendo a produção, armazenamento, transporte e queima de combustíveis fósseis, as reações de degradação são, em geral, iniciadas pela reação com o radical hidroxila e levam à formação de radicais intermediários alcóxi (RO_2) e hidroperóxido (HO_2). O radical OH é o principal agente de oxidação dos COVs durante o dia e está naturalmente presente na atmosfera sendo a sua principal via de formação a reação de fotólise do ozônio, com a participação do vapor d' água. (SIENFELD, 2006 e BAIRD, 2002).

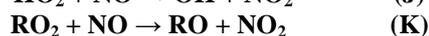


Desta forma o processo de oxidação dos COVs, neste caso exemplificado pelo metano (CH_4), é dado pelas reações:

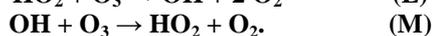
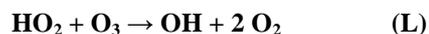




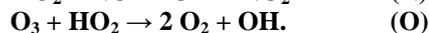
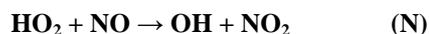
Estes radicais (RO_2 e HO_2) por sua vez, reagem com NO , convertendo NO a NO_2 resultando em uma alta produção de ozônio. O ozônio formado também é consumido neste caso pela reação com o NO (C), mas em razão do grande aumento da conversão do NO para NO_2 há alta formação de ozônio quando a taxa de fotólise do NO_2 atinge o máximo (JENKIN e CLEMITSHAW, 2000).



Os radicais intermediários produzidos das reações de oxidação dos COVs não reagem somente convertendo NO a NO_2 , mas também consumindo ozônio, quando em baixa quantidade de NO como mostra as reações:



Desta forma, o balanço líquido do ozônio formado é resultado da competição entre as reações abaixo:

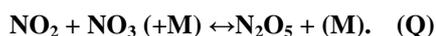


Durante a noite, devido à ausência de radiação, o processo fotoquímico de formação de ozônio cessa, mas uma série de outros poluentes secundários são formados e a oxidação dos COVs ocorre preferencialmente com o radical NO_3 . (SIENFELD, 2006 e BAIRD, 2002).

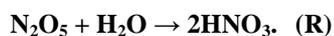
Durante o dia o NO_2 é lentamente convertido em NO_3 pela reação com o ozônio:



E este é rapidamente fotolisado levando a regeneração do NO_2 . No entanto, durante a noite este processo não ocorre e o NO_3 é formado, estabelecendo um equilíbrio entre NO_3 e N_2O_5 , como mostra a reação:



Ao nascer do dia novamente o radical NO_3 é rapidamente removido através da sua fotólise. À noite a principal fonte de remoção é a conversão a ácido nítrico (HNO_3) na reação com a água:



Além disso, o NO_3 reage com os COVs à noite, principalmente com os alcenos e os compostos orgânicos contendo enxofre, podendo formar diversos produtos.

A EPA estabelece em sua publicação de março de 2008 que a exposição ao ozônio no período máximo de 8 horas ao ar livre não ultrapasse a concentração média de 0.075 ppm. (<http://www.epa.gov/air/criteria.html#3>)

A OMS estabelece para o mesmo período de 8 horas em sua publicação de 2005 uma concentração de $100 \mu\text{m}/\text{m}^3$. (WHO, 2005).

1.4.3 *Dióxido de Enxofre (SO_2)*

Resulta principalmente da queima de combustíveis que contém enxofre, como óleo diesel, óleo combustível industrial e gasolina. É um dos principais formadores da chuva ácida. O dióxido de enxofre pode reagir com outras substâncias presentes no ar formando partículas de sulfato que são responsáveis pela redução da visibilidade na atmosfera.

É produzido naturalmente pelas erupções vulcânicas e em certos processos industriais. O dióxido de enxofre serve, sobretudo, para a produção de ácido sulfúrico, que possui numerosas aplicações como produto químico.

Nos motores de ciclo diesel onde a combustão ocorre por compressão, o cilindro se enche de ar, depois é injetado o diesel, que, com a alta temperatura do ar, entra em combustão. Por fim, há a exaustão dos gases, como os óxidos de nitrogênio, o dióxido de enxofre e o material particulado.

Uma vez lançado na atmosfera, o SO_2 é oxidado, formando ácido sulfúrico (H_2SO_4). Esta transformação depende do tempo de permanência no ar, da presença de luz solar, temperatura, umidade e adsorção do gás na superfície das partículas. A permanência no ar por um período grande de tempo faz com que o SO_2 e seus derivados, os aerossóis ácidos, sejam transportados para regiões distantes das fontes primárias de emissão, aumentando a área de atuação destes poluentes. O SO_2 é altamente solúvel em água à 30°C e a maior parte do SO_2 inalado por uma pessoa em repouso é absorvido nas vias aéreas superiores. Sua eliminação se faz, basicamente, de dois modos: pela expiração, principalmente através das narinas, e pela urina, com a eliminação na forma de sulfato e éster sulfato. (IBRAM, 2008).

O dióxido de enxofre é um gás tóxico e corrosivo na presença de umidade, agindo principalmente no sistema respiratório, exercendo uma ação corrosiva causando grande irritação. Sua presença no ar causa irritação nos olhos e sua inalação causa irritação da

garganta, tosse, dificuldades respiratórias, constrição da caixa torácica, inflamação aguda do sistema respiratório e edema pulmonar.

1.4.4 *Monóxido de Carbono (CO)*

É um gás incolor e inodoro que resulta da queima incompleta de combustíveis de origem orgânica (combustíveis fósseis, biomassa, etc). Em geral é encontrado em maiores concentrações nas cidades, emitido principalmente por veículos automotores. Altas concentrações de CO são encontradas em áreas de intensa circulação de veículos. (CETESB, 2010)

É proveniente essencialmente do funcionamento de veículos motores de ciclo Otto (gasolina, álcool, flex ou GNV) onde a combustão ocorre por explosão. A mistura de combustível e ar entra no cilindro, é comprimida e recebe a centelha, provocando a queima. Em seguida são liberados os materiais resultantes, como hidrocarbonetos, dióxido e monóxido de carbono e aldeídos. A emissão dos motores a explosão interna com gasolina contém de 3 a 7% de monóxido de carbono.

O monóxido de carbono é classificado como um asfixiante químico, produzindo uma ação tóxica por combinar-se com a hemoglobina do sangue formando a carboxi-hemoglobina. Posto que a afinidade do monóxido de carbono com a hemoglobina é de 200-300 vezes maior que a do oxigênio, apenas um pouco de monóxido de carbono no ar reage com grande quantidade de hemoglobina o que impede a formação de oxi-hemoglobina, causando a chamada asfixia química. (GAMA GASES, 2005)

Provoca dor de cabeça e redução da capacidade respiratória e os sintomas de intoxicação são: desconforto físico, náuseas, dor de cabeça, tontura, perda de concentração. Dependendo da intensidade da exposição pode levar à morte em poucas horas ou minutos (CETESB, 2004).

1.4.5 *Óxidos de Nitrogênio (NO_x)*

São formados durante processos de combustão. Em grandes cidades, os veículos geralmente são os principais responsáveis pela emissão dos óxidos de nitrogênio. São introduzidos na atmosfera principalmente pelas descargas de automóveis, especialmente os movidos a óleo diesel e gasolina com motores de combustão interna.

Durante a combustão, sob elevadas temperaturas, o oxigênio reage com o nitrogênio formando óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e outros óxidos de nitrogênio

(NO_x). Estes compostos são extremamente reativos e na presença de oxigênio (O₂), ozônio e hidrocarbonetos, o NO se transforma em NO₂. Por sua vez, NO₂ na presença de luz do sol forma oxigênio atômico que irá formar o ozônio (O₃), sendo um dos principais precursores deste poluente na troposfera.

A presença de hidrocarbonetos na atmosfera faz com que NO seja convertido em NO₂ sem consumo de oxigênio e dessa maneira o processo de formação de ozônio é dado, de forma resumida, pelas reações A, B e C descritas no item 1.4.2 do texto.

Também são emitidos por fornos, caldeiras, estufas, incineradores, pelas indústrias químicas na fabricação de ácido nítrico, ácido sulfúrico, corantes e vernizes, na indústria de explosivos e pelos silos de cereais que contêm nitratos e nitritos que se decompõem liberando o NO₂.

O NO₂ é um irritante pulmonar e devido à baixa solubilidade é pouco absorvido nas porções superiores da via respiratória, provoca lesões nas áreas periféricas do pulmão, é também uma substância metemoglobinizante, ou seja, transforma a hemoglobina em metaemoglobina, incapaz de transportar oxigênio aos tecidos o que pode resultar na morte por asfixia.

As principais manifestações nas intoxicações agudas pelo dióxido de nitrogênio são: dispnéia, semelhante a uma crise de asma, acessos de tosse, com expectoração espumosa, rosada ou amarelo rosada, que revela a existência de edema pulmonar.

1.5 Física da Atmosfera

A concentração dos poluentes na atmosfera varia no tempo e no espaço em função de reações químicas e/ou fotoquímicas, dos fenômenos de transporte, de fatores meteorológicos como ventos, turbulências, inversões térmicas e da topografia da região.

As condições meteorológicas têm um papel determinante na descrição físico-química do transporte de poluentes entre a fonte e o receptor, dessa forma, as análises dos dados meteorológicos, a definição dos períodos críticos, o monitoramento dos poluentes e a modelagem matemática para simulação da qualidade do ar são as ferramentas principais para o entendimento da poluição atmosférica.

Quando os poluentes entram na atmosfera, as condições externas tais como pressão, temperatura, umidade, direção e velocidade dos ventos começam a afetá-los. Todos estes fatores meteorológicos, variáveis no tempo e no espaço aliados aos fatores topográficos,

afetam diretamente a dispersão e o transporte dos poluentes. A atmosfera terrestre está em constante movimento, principalmente como resultado da travessia da luz solar que gera um balanço térmico não uniforme. Dessa forma os parâmetros meteorológicos variam consideravelmente com a localização, altitude e tempo (STERN et al, 1984).

Nos estudos de impacto da poluição do ar, normalmente se inclui uma descrição das condições meteorológicas e de topografia tendo como objetivo a determinação da concentração de poluentes que serão emitidos na atmosfera. Deve-se ressaltar que, mesmo mantendo a emissão de poluentes constante, a qualidade do ar pode piorar ou melhorar, dependendo das condições meteorológicas estarem desfavoráveis ou favoráveis à dispersão de poluentes.

1.5.1 *Ventos*

Na análise de transporte e dispersão dos poluentes, além dos movimentos verticais das massas de ar, os movimentos horizontais causados pela direção e velocidade dos ventos devem ser considerados. A velocidade e direção dos ventos contribuem na determinação da concentração dos poluentes em torno das fontes, seu alcance e trajetória. O movimento do ar originando os ventos surge em função da existência de regiões com diferentes pressões. Zonas com pressões altas ou baixas possuem sistemas de ventilação diferenciados. Geralmente o movimento do ar nas camadas inferiores da atmosfera ocorre das regiões de alta pressão para as regiões de baixa pressão. Esta convergência causa a movimentação das camadas de ar resultando num aumento da taxa de ventilação. Quando a taxa de ventilação torna-se muito baixa, em função da diminuição do gradiente de pressão, ocorre a estagnação do ar, o que contribui para o aumento da concentração de poluentes na atmosfera (GRAEDEL & CRUTZEN, 1997).

A intensidade destes sistemas de pressão, seu posicionamento normal ou trajetórias, são determinantes para a distribuição dos ventos em uma dada área. Vários fatores influenciam a movimentação nas direções vertical e horizontal e na análise dos problemas de poluição atmosférica é a combinação de padrões gerais e particulares que é importante.

Os movimentos dos sistemas de pressão e o aquecimento e resfriamento da superfície da terra produzem padrões característicos normalmente apresentados na forma de um gráfico.

1.5.2 *Inversão térmica*

Nos primeiros 10 quilômetros da atmosfera, normalmente, o ar vai se resfriando a medida que nos distanciamos da superfície da terra.

Assim o ar mais próximo à superfície, que é mais quente, portanto mais leve, pode ascender, favorecendo a dispersão dos poluentes emitidos pelas fontes.

As inversões térmicas são um fenômeno meteorológico que ocorre durante todo o ano, sendo que, no inverno elas são mais baixas, principalmente no período noturno. (CETESB, 2010).

As inversões de temperatura podem agravar a concentração de poluentes na atmosfera. Devido a esse fenômeno os contaminantes se acumulam na atmosfera inferior ao invés de se dispersarem e muitos dos casos mais graves de contaminação atmosférica ocorreram durante eventos inversões de temperatura.

O perfil de temperatura vertical influencia diretamente na dispersão dos poluentes. A temperatura na troposfera em geral diminui com o aumento da altitude, em uma média de 4°C a 8°C por quilômetro. Estes gradientes de temperatura dão origem aos movimentos verticais ascendentes e descendentes das massas de ar que afetam o clima e os processos de mistura dos poluentes na atmosfera. Entretanto nas camadas inferiores da atmosfera, entre o primeiro e o segundo quilômetro, a temperatura pode aumentar com a variação da altitude por um determinado período de tempo. (GRAEDEL e CRUTZEL, 1997).

As condições meteorológicas podem causar uma inversão no esquema normal de variação da temperatura na Troposfera. O efeito resultante é a colocação de uma massa de ar frio por baixo de outra de ar mais quente e a formação de uma “capa de inversão” conforme Figura 2.

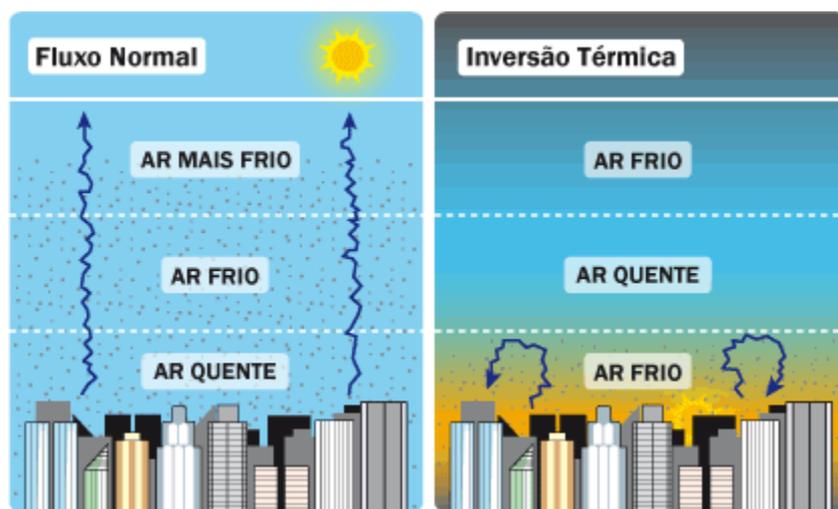


Figura 2: Efeito provocado pela inversão térmica – Fonte: <http://ambiente.hsw.uol.com.br/inversao-termica.htm>

A presença de uma capa de inversão impede a circulação atmosférica vertical, já que o ar mais frio não pode acender através da capa quente de inversão, fazendo com que os contaminantes lançados no ar fiquem confinados na região inferior da inversão. Estas situações podem permanecer invariáveis durante dias, até formar quantidades extremas de smog⁶ conforme ilustrado na Figura 3.

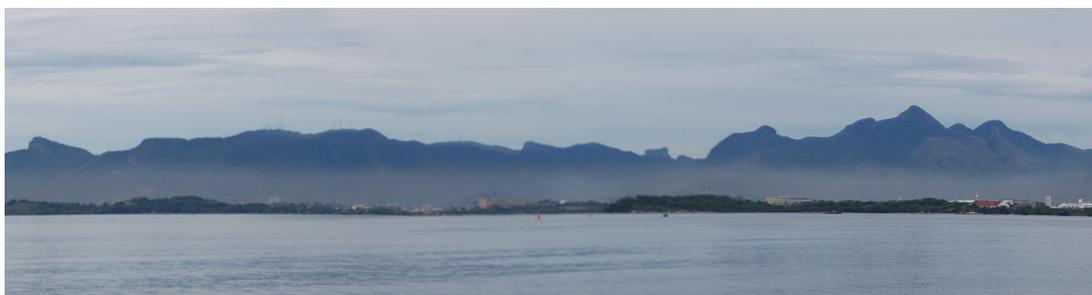


Figura 3: Inversão térmica e formação de “smog” fotoquímico – Fonte: PEREIRA, M.F.M, 2012

Para determinação das altitudes das inversões térmicas são realizadas sondagens atmosféricas que se destinam a obter informações sobre a distribuição vertical da pressão, temperatura, umidade e vento, com o objetivo de estudar as propriedades físicas da atmosfera, quanto aos aspectos dinâmico, termodinâmico.

Para a realização das sondagens são normalmente usados aparelhos denominados radiossonda, ilustrado pela Figura 4, que é um pequeno transmissor de rádio, dotado de

⁶ A palavra smog é uma combinação das palavras em inglês smoke (fumaça) e fog (neblina). O smog fotoquímico possui este nome porque causa na atmosfera diminuição da visibilidade.

sensores de pressão, de temperatura e de umidade. O aparelho é lançado na atmosfera, conduzido por um balão de borracha, inflado com gás, hidrogênio ou hélio, e na superfície, um receptor apropriado analisa continuamente os sinais recebidos e transforma aquelas mudanças de frequência em valores das variáveis observadas.



Figura 4: Radiossonda – Fonte: <http://br.vaisala.com/br>

1.5.3 *Ilhas de calor*

De acordo com a ocupação do solo, uma cidade pode ter vários picos de temperatura espalhados pela mancha urbana, caracterizando assim várias ilhas de calor. Uma região fortemente edificada e industrializada pode apresentar picos de temperatura mais elevados do que uma região com bastantes áreas verdes. Os centros urbanos apresentam temperaturas médias maiores do que as zonas rurais de mesma latitude e neles as temperaturas aumentam das periferias em direção ao centro. Existem casos onde diferença entre as temperaturas pode atingir até 10°C. Esse fenômeno pode ser encarado como o resultado de muitas intervenções pela ocupação do solo e pelas características topográficas da região.

Devido à queima de grande quantidade de combustíveis fósseis em aquecedores, automóveis e indústrias a cidade se transforma em uma fonte de calor. Durante o dia, os edifícios funcionam como um labirinto de reflexão de ar aquecido nas camadas mais altas. À noite a poluição do ar impede a dispersão de calor. Os centros das cidades concentram a mais alta densidade de construções, bem como as atividades emissoras de poluentes. A massa de ar quente carregada de material particulado que se forma sobre essas áreas tende a subir até se

resfriar. Após o resfriamento esse material particulado retorna a superfície, causando nevoeiros. É um verdadeiro círculo vicioso de fuligem e poeira.

Nas grandes cidades muitas vezes é possível enxergar uma "cúpula" acinzentada recobrimdo-a. Uma das formas de evitar a formação dessas ilhas de calor é a manutenção de áreas verdes nos centros urbanos, pois a vegetação altera os índices de reflexão do calor e favorece a manutenção da umidade relativa do ar.

1.6 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

A solução mais antiga, e até hoje mais comum, de resolver problemas de análise de informações espaciais envolve a construção e a utilização de mapas. Embora toda a técnica de produção de mapas em papel esteja bastante dominada, uma vez que a Cartografia é uma ciência muito antiga, o processo de produção e utilização de mapas é muito oneroso, principalmente considerando-se os aspectos de levantamento de dados em campo, armazenamento e atualização.

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas.

O primeiro exemplo de análise espacial corresponde à experiência do epidemiologista inglês John Snow que, na Inglaterra em 1850, usou a cartografia associada a atributos espaciais de forma científica e pioneira, objetivando compreender o processo de disseminação e contaminação pelo cólera, através de bombas d'água de abastecimento humano. Sem os instrumentos microscópicos hoje disponíveis e capazes de identificar a origem da doença, John Snow percebeu que o cólera se disseminava através da água e não do ar. John Snow, então, representou além das quadras urbanas, as bombas d'água em que a população se abastecia e as mortes provocadas pela epidemia, estabelecendo espacialmente de forma categórica a relação entre as bombas e as mortes: "para que um mapa explicasse a verdadeira causa por trás da epidemia, era necessário mostrar menos, não mais" (JOHNSON, 2008).

Outro trabalho importante nesta área foi o de Ian McHarg, um dos precursores dos procedimentos de sobreposição de mapas para análises de adequabilidade de uso da terra. McHarg propôs uma abordagem que lidava com a preparação de diversos mapas, cada um com um tema diferente onde cada unidade no mapa era colorida em folhas de acetato

transparentes e pela sobreposição destas folhas umas sobre as outras, Ian McHarg observou as áreas que apareciam brancas poderiam ser consideradas adequadas para o problema em questão, e as áreas que se mostravam escuras poderiam ser consideradas inadequadas. Ian McHarg argumentou então que este tipo de análise poderia ser utilizado para identificar a melhor localização para uma função específica (MCHARG, 1969).

Esses dois modelos são considerados importantes marcos na história dos SIG, pois refletem a existência de uma base cartográfica de qualidade que permita operações de sobreposição de dados.

Com o desenvolvimento da informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do geoprocessamento.

O termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia, planejamento urbano e gestão ambiental. As ferramentas computacionais para geoprocessamento, chamadas de SIG permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados.

Ao longo dos anos a definição de um Sistema de Informação Geográfica foi aprimorada e uma definição bem aceita e que se mostra mais completa e abrangente é aqui apresentada:

Os SIG são sistemas computacionais desenvolvidos com o propósito de processamento digital da informação geográfica, considerando seus aspectos geométricos, topológicos e temporais. É composto por ferramentas de software desenvolvidas para potencializar a aquisição de dados geográficos, pesquisa e análise espacial de fenômenos e fatos geográficos, além de gerar mapas, cartas, plantas digitais, ou relatórios diversos, alcançando a integração de informações geográficas em vários níveis temáticos. Eles permitem a realização de transformações, análises e simulações com aqueles dados a fim de solucionar problemas complexos de planejamento e gerenciamento com propósitos específicos. (RAMIREZ, 1994).

Pode-se listar uma série de características comuns que podem ser usados para dar aos SIG uma definição funcional. Considere-se um grupo de dados que são associados a propriedades espaciais com uma topologia, ou seja, uma expressão numérica ou lógica das relações entre estes dados. Possuem arquivos ou estruturas de dados comuns e com o sistema

é possível executar as funções de coleta, armazenamento, recuperação, análise e geração de mapas.

1.6.1 *Componentes de um SIG*

Numa visão abrangente, pode-se indicar que um SIG tem os seguintes componentes:

- Interface com o Usuário
- Entrada de Dados
- Armazenamento e Gerenciamento de Dados;
- Análise e Manipulação de Dados;
- Saída de Dados.

1.6.2 *Estrutura Geral de um SIG*

Entrada de dados

É o processo de identificação e obtenção dos dados necessários a uma aplicação específica e envolve a aquisição, reformulação, georreferenciamento, compilação e documentação dos dados. O componente de entrada de dados converte os dados de sua forma existente ou bruta para um formato que possa ser utilizado pelo SIG. Uma vantagem do SIG é a eficiência com que ele pode integrar os dados necessários para um dado projeto, que podem ser encontrados em diferentes formatos, dentre eles, mapas, tabelas, cartas, fotos aéreas, imagens de satélite e conjuntos de dados digitais, em um formato compatível para a análise.

Os dados podem ser inseridos em um SIG utilizando-se o teclado e o mouse de um computador, através de mesas digitalizadoras, scanners ou pela obtenção junto a órgãos públicos, universidades, de dados digitais.

Armazenamento e Gerenciamento de Dados

Inclui as funções necessárias ao armazenamento e recuperação dos dados a partir de um banco de dados. Este banco de dados pode ser definido como uma coleção não redundante de dados organizados em um computador de modo que possam ser expandidos, atualizados, recuperados e compartilhados por vários usuários.

O banco de dados de um SIG deve ser pensado como um modelo dos sistemas geográficos do mundo real. Neste tipo de modelo, deve-se fazer uma distinção entre entidade geográfica, que é um elemento do mundo real e um objeto, que é uma representação da entidade geográfica. Objetos geográficos são descritos como dois tipos de componentes: os

dados de localização, que relacionam os objetos à sua localização no espaço geográfico e os dados de atributo, que descrevem outras informações e ou propriedades do objeto além de sua localização (MALCZEWSKI, 1999).

Todos os dados em um SIG são normalmente organizados por mapas temáticos separados. Cada um destes mapas temáticos é denominado de plano de informação, *layers* ou camadas. Um plano de informação é um conjunto de dados descrevendo uma única característica de cada local dentro de uma área geográfica delimitada. A sequência de planos de informação normalmente se inicia com uma base cartográfica, sobre a qual outro plano de informação, contendo dados específicos é adicionado. Cada plano de informação contém informações de natureza diferente e pode ser considerado como uma variável, ou seja, ele captura a variação de um atributo sobre a superfície da Terra conforme ilustrado na Figura 5.

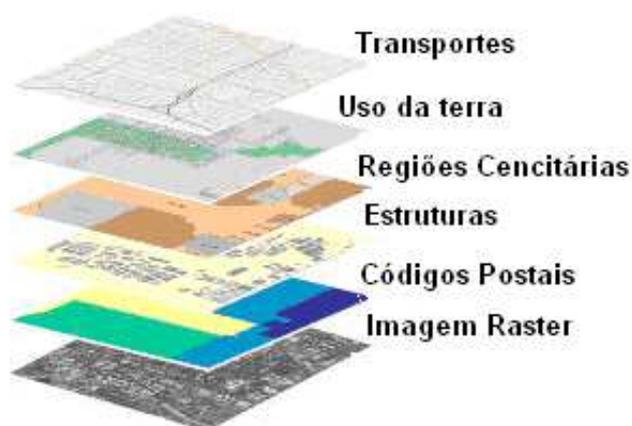


Figura 5: Tipos de dados espaciais organizados em planos de informação - Fonte adaptada: <http://www.fpa.nifc.gov>

Representação dos Dados Espaciais ou Gráficos

Os modelos geométricos para a representação da componente gráfica ou espacial no ambiente digital são o matricial, também denominado de raster, e o vetorial.

Os dados espaciais podem ser representados de duas maneiras:

Raster ou Matricial - (contínuo) – neste modelo o terreno é representado por uma matriz ij M , composta por i colunas e j linhas, que definem células, denominadas como pixels, ao se cruzarem. Cada pixel apresenta um valor referente ao atributo, além dos valores que definem o número da coluna e o número da linha, correspondendo, quando o arquivo está georreferenciado, às coordenadas x e y , respectivamente. Neste tipo de representação, a

superfície é concebida como contínua, onde cada pixel representa uma área no terreno, definindo a resolução espacial.

Vetorial (discreto) - a localização e a feição geométrica do elemento são armazenadas e representadas por vértices definidos por um par de coordenadas.

Dependendo da sua forma e da escala cartográfica, os elementos podem ser expressos pelas seguintes feições geométricas:

Pontos – representados por um vértice, ou seja, por apenas um par de coordenadas, definindo a localização de objetos que não apresentam área nem comprimento, tendo como exemplo dessa representação a identificação de um hospital em uma escala intermediária, uma cidade em uma escala pequena ou o epicentro de um terremoto.

Linhas poligonais ou arcos – representados por, no mínimo, dois vértices conectados, gerando polígonos abertos que expressam elementos que possuem comprimento ou extensão linear, simbolizam uma linha que é representada como um número de coordenadas ao longo de seu comprimento. Como exemplo temos a representação de uma estrada ou de um rio.

Polígonos - representados por, no mínimo, quatro vértices conectados, sendo que o primeiro possui coordenadas idênticas ao do último, gerando, assim, polígonos fechados que definem elementos geográficos com área e perímetro. Os limites político-administrativos de um município ou as classes de mapas temáticos de uso e cobertura do solo servem como exemplo, pois representam um polígono com um conjunto de coordenadas em seus cantos e possuem área e perímetro.

Análise e Manipulação dos Dados

As funções de manipulação e análise de dados geográficos podem ser agrupadas de acordo com o tipo de dado tratado: análise geográfica, processamento de imagens, modelagem de terreno, redes, geodésia, fotogrametria e produção cartográfica. A análise geográfica, por exemplo, permite a combinação de informações temáticas, e pode ser realizada com a finalidade de avaliar a distribuição espacial dos objetos dentro de um polígono determinado tendo como exemplo a localização de estações de monitoramento dentro de um polígono que represente uma área de estudo.

Saída de Dados

Este componente do SIG fornece uma maneira de ver os dados ou informações na forma de mapas, tabelas, diagramas, cartas, plantas digitais, ou relatórios diversos, ou seja,

este componente mostra aos usuários os resultados do processamento e das análises em um SIG. O padrão de saída de dados mais freqüente é o uso de mapas acompanhados de tabelas. Os resultados apresentados na forma de mapas podem ser modificados ou melhorados interativamente, através de funções de composição de mapas cartográficos para a adição de elementos tais como legendas, títulos, rosa dos ventos, escalas, modificação de cores e ajuste de simbologia.

Dessa forma os SIG se transformaram em uma ferramenta poderosa para o tratamento de dados espaciais destinados ao monitoramento ambiental e um excelente sistema de apoio à decisão.

1.6.3 *ArcGIS*

O ArcGIS é um pacote de *softwares* da Environmental Systems Research Institute, ESRI, de elaboração e manipulação de informações vetoriais e matriciais para o uso e gerenciamento de bases temáticas. O ArcGIS disponibiliza em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) uma gama de ferramentas de forma integrada e de fácil utilização.

Neste pacote de *softwares* temos o ArcMap, comumente chamado de ArcGIS, que é um software de interface gráfica e amigável, que permite a sobreposição de planos de informação (*layers*) vetoriais e matriciais, além de objetos gráficos, fontes e figuras, com a finalidade de mapeamento temático. Também permite pesquisas e análises espaciais, criação e edição de dados, padronização e impressão de mapas. O ArcCatalog disponibiliza ferramentas para a exploração, armazenamento, pesquisa e gerenciamento de dados, criação e preenchimento de metadados e por fim, o ArcToolBox agiliza a busca das ferramentas de geoprocessamento e rotinas, fornecendo num único ambiente a busca e a execução de comandos.

1.7 Rede de monitoramento

Uma rede de monitoramento da qualidade do ar tem como principal finalidade determinar o nível de concentração dos poluentes presentes na atmosfera. Os dados provenientes desse monitoramento permitem um acompanhamento sistemático da qualidade do ar em uma área de abrangência no entorno da estação de monitoramento, variável de acordo com o posicionamento de cada estação. Para a elaboração dos diagnósticos da qualidade do ar também são utilizados os dados do monitoramento que geram subsídios importantes nas ações governamentais para o controle das emissões.

Com o acompanhamento das condições meteorológicas é possível declarar estados de atenção, alerta e emergência com base nos níveis de concentração verificados através da rede de monitoramento diariamente.

Sem o monitoramento não seria possível quantificar os problemas causados pelos poluentes lançados na atmosfera. Como resultado desse monitoramento é possível determinar os dias de maior incidência de poluição, ou até mesmo os horários de pico destas emissões de gases e particulados poluentes na área de abrangência da rede de monitoramento.

No Estado do Rio de Janeiro a qualidade do ar é monitorada desde 1967, quando foram instaladas as primeiras estações de monitoramento. Atualmente o monitoramento da qualidade do ar na RMRJ é realizado por estações controladas pelo INEA, pela SMAC e por algumas estações privadas.

Para fazer o monitoramento da qualidade do ar nessa região, o INEA opera uma rede de amostragem constituída por 22 estações manuais e cinco automáticas. O monitoramento realizado pela SMAC da Prefeitura do Rio de Janeiro conta com 8 estações automáticas distribuídas pelo município do Rio de Janeiro.

1.7.1 Estações de monitoramento

As estações fazem um monitoramento contínuo da qualidade do ar e dos parâmetros meteorológicos das regiões onde estão instaladas. São projetadas de acordo com a necessidade de monitoramento em cada região. Pode-se definir dessa forma, o tipo e o tamanho da estação, o número de equipamento e quais parâmetros serão analisados.

Normalmente cada estação possui em sua composição um *datalogger* que armazena todas as medições e transmite para um sistema central, onde os dados de várias estações são gerenciados, um sistema de comunicação através de linha telefônica discada, linha dedicada,

rádio ou qualquer outro acesso a internet para realizar a transmissão dos dados armazenados, racks modulares onde são posicionados os monitores, mastro meteorológico, *manifold* para entrada de ar com controle de umidade, armário traseiro com ventilação para os gases de calibração, bancada de trabalho e mesa para o monitor, teclado e mouse, com gavetas e armário, alarme com detector de presença e de abertura de porta e iluminação de emergência.

1.8 **Gestão da qualidade do ar**

1.8.1 *Gestão da qualidade do ar no Estado de São Paulo*

No Estado de São Paulo, o Decreto 8.468, de 08 de setembro de 1976, aprova e regulamenta a Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.

Neste Decreto, no Art. 41, as fontes de poluição para as quais não foram estabelecidos padrões de emissão adotarão sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível para cada caso.

No Art. 42, as fontes novas de poluição do ar, que pretendam se instalar serão:

I - obrigadas a comprovar que as emissões provenientes da instalação ou funcionamento não acarretarão, para a Região ou Sub-Região tida como saturada, aumento nos níveis de poluentes que as caracterizem como tal;

II - proibidas de instalar-se ou funcionar quando, a critério da CETESB, houver o risco potencial a que alude o inciso V do artigo 3º, ainda que as emissões provenientes de seu processamento estejam enquadradas nos incisos I, II, III, IV do mesmo artigo.

Parágrafo 1º - Para configuração do risco mencionado no inciso II, levar-se-á em conta a natureza da fonte, bem como as construções e edificações ou propriedades passíveis de sofrer os efeitos previstos no inciso V do artigo 3º.

Parágrafo 2º - Ficará a cargo do proprietário da nova fonte comprovar, sempre que a CETESB exigir, o cumprimento do requisito previsto no inciso I.

O Decreto 8.468, de 08 de setembro de 1976, dispõe também sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente ao estabelecer padrões de emissão de poluentes para fontes fixas e móveis, além de dividir o território do Estado de São Paulo em onze regiões denominadas Regiões de Controle de Qualidade do Ar (RCQA), para fins de utilização e preservação da qualidade do ar. Estas regiões coincidem com as onze regiões administrativas do Estado, estabelecidas no Decreto Estadual 52.576/70.

De acordo com o Art. 21, da Lei 997/76, considera-se ultrapassado um padrão de qualidade do ar, numa Região ou Sub-Regiões de Controle de Qualidade do Ar, quando a concentração aferida em qualquer das estações medidoras, localizadas na área correspondente, exceder, pelo menos, uma das concentrações máximas especificadas no artigo 29. A partir da vigência da Resolução CONAMA 003/90, que estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar, o mencionado artigo 29 deixou de ser utilizado por ser menos abrangente (CETESB, 2000).

O Decreto Estadual 48.523, de 02/03/2004 e o Decreto estadual 50.753, de 28/04/2006 e, posteriormente, o Decreto Estadual 52.469, de 12/12/2007, introduziram alterações significativas na regulamentação e, por conseguinte, no Decreto Estadual 8.468/76, definindo critérios para estabelecimento dos graus de saturação da qualidade do ar de uma sub-região quanto a um poluente específico, possibilitando a CETESB, nas sub-regiões em vias de saturação e nas saturadas, fazer exigências especiais para as atividades em operação, com base nas metas, planos e programas de prevenção e controle de poluição, quer na renovação da licença de operação, quer durante sua vigência, incentivando a competitividade e a inovação tecnológica.

Os Decretos 48.523/04 e 50.753/06 estabeleceram que a sub-região de gerenciamento da qualidade do ar para os poluentes primários é o território do município, exceto no caso de conurbação, em que a sub-região compreenderá todos os municípios conurbados. Considera, também, como sub-região de gerenciamento da qualidade do ar para os poluentes secundários, toda a área que diste até 30 km de qualquer estação que gere dados validados pela CETESB, podendo esta alterar o contorno da área mediante decisão motivada.

O Decreto 52.469/07 altera, mais uma vez, o conceito de abrangência estabelecendo que a sub-região de gerenciamento onde houver estação de medição da qualidade do ar será:

- para o ozônio — o território compreendido pelos municípios que, no todo ou em parte, estejam situados a uma distância de até 30 km da estação de monitoramento da qualidade do ar;
- para os demais poluentes — o território do município onde está localizada a estação de monitoramento da qualidade do ar;
- nos casos de conurbação — a CETESB poderá, mediante decisão tecnicamente justificada, ampliar a área compreendida pela sub-região, de modo a incluir municípios vizinhos.

Dessa forma, tais Decretos alteraram significativamente os critérios de determinação de área saturada e seu gerenciamento e a forma de licenciamento de fontes de poluição, tendo

como referência o conceito de gestão (licenciamento em área saturada) e o de desenvolvimento sustentável, com comércio de emissões no âmbito do Estado. Assim, segundo os Decretos 48.523/04 e 50.753/06 “determina-se o grau de saturação da qualidade do ar de uma sub-região quanto a um poluente específico, cotejando-se as concentrações verificadas nos últimos três anos com os Padrões de Qualidade do Ar (Pqar) estabelecidos...”. Já o Decreto 52.469/07 estabelece que as regiões sejam classificadas, anualmente, pela CETESB e aprovadas pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA). Nas alterações realizadas, em 2007, foi incluído o conceito de grau de severidade para concentração de poluentes e a maior participação da sociedade na discussão das regiões saturadas e em vias de saturação, que passam a ser discutidas no âmbito do CONSEMA, garantindo maior legitimidade na aplicação da legislação. (CAVALCANTI, 2010).

Ainda, está previsto que, nas sub-regiões saturadas ou em vias de saturação, a CETESB estabelecerá um Programa de Redução de Emissões Atmosféricas (PREA), para os empreendimentos que se encontrarem em operação. As novas fontes, ou no caso da ampliação das já existentes, serão obrigadas a compensar em 110% e 100%, respectivamente, as emissões atmosféricas a serem adicionadas dos poluentes que causaram tais resultados. A compensação das emissões poderá se dar tanto em fontes fixas, quanto em fontes móveis. Além disso, estabelecem linhas de corte para obrigatoriedade de compensação de emissões adicionadas. (CAVALCANTI, 2010).

Assim sendo, com a nova legislação, o Estado de São Paulo prevê limite territorial quando do licenciamento de fontes fixas e móveis, nas áreas saturadas ou em vias de saturação, sendo as compensações definidas pelos limites político-administrativos dos municípios onde a fonte irá se instalar. (CAVALCANTI, 2010).

1.8.2 *Gestão da qualidade do ar na Califórnia*

A Assembléia da Califórnia criou o *Air District*, em 1955, como a primeira Agência Regional de controle da poluição do ar no País, reconhecendo que as emissões atmosféricas ultrapassam as fronteiras políticas. Os nove municípios da baía de São Francisco formam uma bacia aérea regional, partilhando as mesmas características geográficas e meteorológicas e, portanto, com as mesmas responsabilidades sobre a poluição do ar, que não pode ser abordada pelos municípios agindo por conta própria. (CAVALCANTI, 2010)

O “*Bay Area Air Quality Management District*” (BAAQMD) é o órgão público responsável pela regulação das fontes fixas de poluição do ar em nove municípios que cercam

a baía de San Francisco: Alameda, Contra Costa, Marin, Napa, San Francisco, San Mateo, Santa Clara, sudoeste de Solano e municípios do sul de Sonoma.

As suas primeiras ações foram no sentido de proibir a queima a céu aberto em lixões e estações de destruição de resíduos e o estabelecimento da adoção de controles de poeira, vapores e gases de combustão de certas fontes industriais.

É regido por um do Conselho de Administração, com 22 membros, composto por funcionários eleitos, localmente, em cada um dos nove municípios da bacia aérea.

O número de membros de cada município é proporcional à sua população. O Conselho supervisiona as políticas e aprova os regulamentos para o controle da poluição do ar dentro do Distrito. Há um Diretor Executivo que implementa as políticas e dirige o corpo funcional, da mesma forma que o Conselheiro Distrital gerencia os assuntos legais da agência. O Distrito do Ar possui de mais de 350 funcionários dedicados, incluindo engenheiros, inspetores, planejadores, cientistas e outros profissionais.

O Distrito é auxiliado por um Conselho Consultivo composto por 20 representantes da comunidade, saúde, meio ambiente e outras organizações, dentre suas responsabilidades julgam questões de conformidade regulatória que possam surgir entre o Distrito e as indústrias locais.

Os objetivos estratégicos do Distrito são:

- Reduzir e eliminar disparidades de saúde devido à poluição atmosférica;
- Estabelecer e manter padrões de qualidade do ar para todos os poluentes “criteria”, utilizando a experiência e a inovação do Distrito do Ar e agências parceiras;
- Implementar programas regulatórios e garantir a conformidade com normas federais, estaduais e regulamentos do Distrito do Ar;
- Estabelecer a área da baía como um centro principal para as reduções de emissões nas áreas de fontes móveis, planejamento do uso da terra, tecnologia inovadora e de energia, com base em incentivos e parcerias;
- Utilizar programas educacionais e parcerias para engajar todos os atores da bacia aérea na preservação do recurso atmosférico;
- Servir como autoridade da qualidade do ar no desenvolvimento da política de ar e da informação;
- Aplicar o estado-da-arte em ferramentas, técnicas e tecnologias nas operações do Distrito do Ar;
- Manter um alto desempenho e força de trabalho motivadora;

- Implementar as melhores práticas em gestão ambiental nas operações do Distrito do Ar.

Em 2003, o Distrito de Qualidade do Ar da Costa Sul (*South Coast Air Quality Management District – SCAQMD*), da Califórnia, desenvolveu uma “Estratégia de Redução de Impactos Cumulativos”, ou CIRS (*Cumulative Impacts Reduction Strategy*) com o objetivo de apresentar uma estratégia ampla para identificar os impactos cumulativos na qualidade do ar, de forma que todas as comunidades do Distrito recebam tratamento equitativo e atenção para suas questões relativas à qualidade do ar local. Assim, foi elaborado um documento “Estratégias de controle potencial para tratar os impactos cumulativos da poluição do ar” sobre as opções e regulamentações para tratar os impactos cumulativos das emissões atmosféricas. (CAVALCANTI, 2010)

1.8.3 *Gestão da qualidade do ar no Reino Unido*

A Lei de Meio Ambiente, de 1995, “*Environment Act 1995*”, estabeleceu que o Reino Unido e as administrações descentralizadas, Escócia e País de Gales, adotassem uma estratégia nacional de qualidade do ar contendo normas, objetivos e medidas para melhorar a qualidade do ar ambiente, além de implementar ações e revê-las. Não havia legislação equivalente na Irlanda do Norte.

Em janeiro de 2000, a estratégia vigente foi substituída pela “Estratégia de Qualidade do Ar para a Inglaterra, Escócia, País de Gales e Irlanda do Norte”, quando foi estabelecido o quadro para alcançar melhorias na qualidade do ar a partir de 2003.

A estratégia identificou as ações a nível local, nacional e internacional para melhorar a qualidade do ar. Foi seguida por um Addendum, em fevereiro de 2003, que reforçou vários dos objetivos e introduziu novos.

O Governo do Reino Unido estabeleceu que as administrações descentralizadas fossem responsáveis por questões políticas e legislativas que afetam o meio ambiente, incluindo a qualidade do ar. No entanto, devido ao caráter transfronteiriço de poluentes do ar, é conveniente ter uma estratégia apresentada em um documento, com objetivos comuns:

“primordial é assegurar que todos os cidadãos devem ter acesso ao ar ambiente sem risco significativo para a sua saúde, de acordo com a viabilidade técnica e econômica”. (CAVALCANTI, 2010).

Dessa forma, para que alcance este objetivo, a estratégia parte de dois conceitos fundamentais que constituem sua estrutura central:

- Padrões de qualidade do ar — são concentrações de poluentes na atmosfera que podem alcançar um determinado nível de qualidade ambiental. Os padrões são avaliados com base nos efeitos de cada poluente na saúde humana, incluindo efeitos em subgrupos mais sensíveis ou nos ecossistemas;

- Objetivos — metas políticas sempre expressas como a concentração máxima que não pode ser excedida, ou sem exceção, ou com um número permitido de violações, dentro de determinada escala temporal.

O *Environment Act 1995* e o *Environment Order 2002* introduziram o sistema local de gestão da qualidade do ar *Local Air Quality Management (LAQM)*. Desde então, as autoridades de cada local têm tido que rever, periodicamente, e avaliar se suas áreas estão cumprindo os objetivos nacionais para os sete poluentes propostos. Caso algum objetivo não esteja sendo alcançado, as autoridades locais devem designar aquelas áreas como de gestão da qualidade do ar e trabalhar no sentido de alcançar tais objetivos. (CAVALCANTI, 2010)

Os planos de ação locais devem, primordialmente, incluir as seguintes medidas:

- compromisso corporativo para colocar a qualidade do ar no centro do processo de tomada de decisão, em especial em outras áreas políticas, tais como decisões de planejamento, incluindo-a em estratégias regionais de desenvolvimento;

- compromisso de trabalhar em estreita colaboração com as autoridades competentes em matéria de estradas e/ou regulação ambiental, sobre as possíveis medidas de redução de emissões nas vias de tráfego e/ou indústrias, as principais fontes locais de poluentes;

- medidas de gestão do tráfego local para limitar o acesso ou a alterar o fluxo em áreas problemáticas;

- compromisso de desenvolver ou promover planos de “viagem verde” e/ou uso de combustíveis limpos nos veículos da frota oficial;

- estratégia para informar o público sobre as questões da qualidade do ar;

- parcerias com operadores de frota de ônibus no sentido de melhorar a qualidade dos veículos: mais silenciosos, tendo como retorno melhores corredores de ônibus ou de um regime mais flexível de entrega;

- propor taxação no estacionamento do local de trabalho, no longo prazo.

É importante destacar que o Reino Unido está legalmente obrigado a cumprir os valores-limite da UE para certo número de poluentes e as medidas locais são um dos mais importantes meios para que tais limites sejam alcançados e parece bastante claro que as autoridades locais estão melhor aparelhadas para identificar as medidas a serem adotadas, bem como avaliá-las ou revê-las. (CAVALCANTI, 2010)

Nas LAQM as autoridades são livres para desenvolver as estratégias e considerar as ações que são mais adequadas para cada região.

Os Planos de Ação devem incluir uma quantificação da melhoria da qualidade do ar para cada medida adotada ou proposta, dentro de um dado período de tempo, ou seja, x% de redução de emissões para 2011, em relação a 2009, na área de gestão da qualidade do ar. Também, devem considerar o impacto econômico, social e ambiental.

Caso a caso, deve ser examinado se os Planos de Ação para a Qualidade do Ar, estabelecidos pelo Governo, estão sujeitos a uma Avaliação Ambiental Estratégica, de acordo com a Diretiva 2001/42/EC “sobre a avaliação dos efeitos de determinados planos e programas sobre o meio ambiente”. (CAVALCANTI, 2010)